



РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ISSN 1605-8070
eISSN 2410-4639

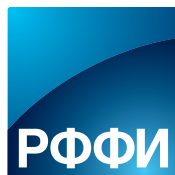
ВЕСТНИК

РФФИ

№3 (91) июль–сентябрь 2016 г.

**ТЕМАТИЧЕСКИЙ БЛОК:
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ
И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**стр.
22**



Вестник Российского фонда фундаментальных исследований

№ 3 (91) июль–сентябрь 2016 года

Основан в 1994 году

Зарегистрирован Комитетом РФ по печати, рег. № 012620 от 03.06.1994

Сетевая версия зарегистрирована Роскомнадзором, рег. № ФС77-61404 от 10.04.2015

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Российский фонд фундаментальных исследований»

Главный редактор В.Я. Панченко,
заместитель главного редактора В.В. Квардаков

Редакционная коллегия:

В.А. Геловани, Ю.Н. Кульчин, В.П. Матвеевко, Е.И. Моисеев,
А.С. Сигов, Р.В. Петров, И.Б. Федоров, В.В. Ярмолюк,
П.П. Пашинин, В.П. Кандидов, В.А. Шахнов

Редакция:

А.П. Симакова, Е.Б. Дубкова, Н.В. Круковская

Адрес редакции:

119334, г. Москва, Ленинский проспект, 32а

Тел.: (499) 995-16-05

e-mail: pressa@rfbr.ru



Russian Foundation for Basic Research Journal

N 3 (91) July–September 2016

Founded in 1994

Registered by the Committee of the Russian Federation for Printed Media, 012620 of 03.06.1994 (print)

Registered by the Roskomnadzor FS77-61404 of 10.04.2015 (online)

The Founder

Federal State Institution

“Russian Foundation for Basic Research”

Editor-in-Chief V. Panchenko,

Deputy Chief Editor V. Kvardakov

Editorial Board:

V. Gelovani, J. Kulchin, V. Matveenko, E. Moiseev,

A. Sigov, R. Petrov, I. Fedorov, V. Yarmolyuk,

P. Pashinin, V. Kandidov, V. Shakhnov

Editorial staff:

A. Simakova, E. Dubkova, N. Krukovskaya

Editorial address:

32a, Leninskiy Ave., Moscow, 119334, Russia

Tel.: (499) 995-16-05

e-mail: pressa@rfbr.ru

«Вестник РФФИ»

№ 3 (91) июль–сентябрь 2016 г. (Приложение к «Информационному бюллетеню РФФИ» № 24)

КОЛОНКА ТЕМАТИЧЕСКИХ РЕДАКТОРОВ

- О редакторах тематического блока члене-корреспонденте РАН Д.В. Ушакове
и члене-корреспонденте РАН Е.Н. Черных6
- Д.В. Ушаков, Е.Н. Черных*
- Между алгеброй и гармонией: естественнонаучные методы в социо-гуманитарных науках9

ТЕМАТИЧЕСКИЙ БЛОК: ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

- Е.Н. Черных*
- Археология и история: хронологическо-методологический диссонанс наук
(методы естественных дисциплин в археологии) 22
- А.П. Деревянко, В.И. Молодин, М.В. Шуньков*
- Междисциплинарные исследования в археологии Северной Азии..... 34
- Л.И. Бородкин, Д.И. Жеребятьев*
- Технологии 3D-моделирования в изучении пространственных аспектов городской
истории: виртуальная реконструкция монастырского комплекса XIX – начала XX вв. 47
- Б.М. Величковский, М.В. Ковальчук, В.Л. Ушаков, М.Г. Шараев*
- Исследование сознания естественнонаучными методами:
возможная роль волновой интеграции..... 61
- Л.С. Куравский, П.А. Мармалюк, Г.А. Юрьев*
- Диагностика профессиональных навыков на основе вероятностных
распределений глазодвигательной активности 72
- Т.А. Больгина, С.А. Малютин, В.В. Завьялова, Г.А. Игнатьев, В.Л. Ушаков,
Ю.С. Акинина, М.В. Иванова, О.В. Драгой*
- Парадигма для определения латерализации языка в мозге: естественнонаучный метод
на службе лингвистики 83
- М.Л. Бутовская*
- Универсальные морфо-психотипы человека: адаптация к условиям среды
и оптимизация репродуктивного успеха 92
- С.Г. Климова, М.А. Михеенкова, В.К. Финн*
- Возможности и условия применимости формализованного анализа
качественных данных в социологических исследованиях 100
- Е.Ю. Хрусталева, О.Е. Хрусталева*
- Инструментарий семантического моделирования наукоемких
и высокотехнологичных производств 108

"RFBR Journal"

N 3 (91) July-September 2016 (Supplement to "Information Bulletin of RFBR" N 24)

THEMED ISSUE EDITORS' COLUMN

About the Editors of the Themed Section RAS Corresponding Member
 D.V. Ushakov and RAS Corresponding Member E.N. Chernykh.....8
D.V. Ushakov, E.N. Chernykh
 Between Algebra and Harmony: Natural Sciences Methods in Socio-Humanitarian Sciences16

THEMED SECTION: NATURAL SCIENCES AND MATHEMATICS METHODS IN HUMANITARIAN STUDIES

E.N. Chernykh
 Archaeology and History: Chronological and Methodological Dissonance of Sciences
 (Natural Sciences Methods in Archaeology)..... 22

A.P. Derevyanko, V.I. Molodin, M.V. Shunkov
 Multidisciplinary Studies in Archaeology of Northern Asia 34

L.I. Borodkin, D.I. Zherebyatev
 3D-Modelling Technology in the Study of Urban History Spatial Aspects:
 the Virtual Reconstruction of the Monastery Complex of XIX - Early XX Centuries 47

B.M. Velichkovskiy, M.V. Kovalchuk, V.L. Ushakov, M.G. Sharaev
 The Study of Consciousness by Natural Science Methods:
 On a Possible Role of Wave-Like Integration Processes 61

L.S. Kuravskiy, P.A. Marmalyuk, G.A. Yurev
 Diagnostics of Professional Skills Based on Probability Distributions of Oculomotor Activity 72

*T.A. Bolgina, S.A. Malyutina, V.V. Zavyalova, G.A. Ignatev, V.L. Ushakov, Yu.S. Akinina,
 M.V. Ivanova, O.V. Dragoy*
 The Paradigm of Language Lateralization in the Brain:
 Natural Sciences Method for Linguistics..... 83

M.L. Butovskaya
 Universal Morpho-Psychotypes of Humans: Adaptation to Environment and Optimization of
 Reproductive Success 92

S.G. Klimova, M.A. Mikheenkova, V.K. Finn
 Opportunities and Conditions for the Applicability of the Formalized
 Analysis of Qualitative Data in Sociological Research 100

E.Yu. Khrustalev, O.E. Khrustalev
 Toolkit for Semantic Modelling of Knowledge-Intensive and High-Tech Industries..... 108

Редакторы тематического блока



УШАКОВ

Дмитрий Викторович

- Член-корреспондент РАН
- Заведующий лабораторией психологии и психофизиологии творчества Института психологии РАН
- Председатель экспертного совета Российского фонда фундаментальных исследований

Государственные награды, звания и премии:

- Лауреат конкурса «Лучшие молодые ученые Российской Академии Наук»

- RAS Corresponding Member
- Head of the Laboratory of Psychology and Psychophysiology of Creative Activity, Institute of Psychology of RAS
- Chairman of the RFBR Expert Council

Honours and awards:

- Award “The Best Young Scientists of the Russian Academy of Sciences”



ЧЕРНЫХ

Евгений Николаевич

- Член-корреспондент РАН
- Член ученого совета Института археологии РАН
- Заведующий лабораторией естественнонаучных методов в археологии Института археологии РАН

Государственные награды, звания и премии:

- Награжден орденом «Кирилл и Мефодий» 1-й степени (Болгария, 1980)

- RAS Corresponding Member
- Member of the Scientific Council, Institute of Archaeology of RAS
- Head of the Laboratory of Natural Science Methods in Archaeology, Institute of Archaeology of RAS

Honours and awards:

- Order of Cyril and Methodius, 1st class (Bulgaria, 1980)

Дмитрий Викторович Ушаков, доктор психологических наук, профессор, член-корреспондент РАН. Родился 12 мая 1964 г. в Москве. В 1986 г. окончил факультет психологии МГУ им. М.В. Ломоносова. В 1991–1992 гг. – постдок в Университете Париж-V. С 1986 г. по настоящее время работает в Институте психологии РАН, где сначала был аспирантом, младшим научным, научным и старшим научным сотрудником. С 2003 г. по настоящее время – заведующий лаборатори-

ей психологии и психофизиологии творчества. Д.В. Ушаков разработал и экспериментально обосновал структурно-динамическую теорию интеллекта. Является также специалистом и автором экспериментальных методов в области исследований творчества, социального и эмоционального интеллекта. Разрабатывает проблематику одаренности, где, в частности, предложил понятие интенсивной системы работы с одаренными детьми в противоположность экстенсивной. Разработал ряд тестов социального и эмоционального интеллекта и креативности.

Автор более 200 печатных работ, в том числе автор и редактор 11 монографий.

Евгений Николаевич Черных, доктор исторических наук, профессор, член-корреспондент РАН. Родился 11 декабря 1935 г. в Москве. В 1953 г. окончил среднюю школу и поступил на исторический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, который закончил в 1958 г. В Университете специализировался по кафедре археологии. В конце 1958 г. был принят на работу в Институт истории материальной культуры АН СССР в качестве лаборанта. С 1959 г. параллельно с работой в Институте проходил курс обучения на кафедре металловедения Московского института стали и сплавов, где овладел специальностью спектроаналитика. Принимал активное участие в организации в рамках Института будущей лаборатории естественнонаучных методов. В 1963 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1972 г. – докторскую. В 1994 г. Е.Н. Черных было присвоено звание профессора. В 1980 г. он был избран иностранным членом-корреспондентом Германского археологического института, а в 2006 г. был избран в состав Российской академии наук.

Научные интересы: фундаментальные проблемы археологии, история технологий, древнейшее горно-металлургическое производство Евразии.

Е.Н. Черных был организатором и участником археологических и геолого-археологических экспедиций во многих регионах Евразии: в Монголии и Забайкалье, на Алтае и Памиро-Тяньшане, в пустынных областях Средней Азии, на Урале, в Северном Причерноморье, на Северном и Южном Кавказе, в Малой Азии, на Балканах. Результатами экспедиций явилось открытие многих ярких памятников горно-металлургического производства. Среди последних – древнейший в Северной Евразии гигантский горно-металлургический центр Каргалы на Южном Урале, а также Аи Бунар на Балканах – наиболее древний уже во всей Евразии медный рудник (V в. до н.э.). Эти памятники признаны научной общественностью весьма значимыми на мировом уровне.

С 1984 г. по настоящее время является заведующим лабораторией естественнонаучных методов Института археологии РАН. С 1994 г. принимал активное участие в организации и работе Отдела естественнонаучных методов исследований в гуманитарных науках РФФИ, где в течение ряда лет исполнял обязанности председателя экспертного совета. Автор около 500 печатных работ, среди которых 20 книг. Статьи и книги опубликованы не только в российских научных и научно-популярных изданиях, но также в США, Европе и Китае.

About the Editors of the Themed Section

Dmitriy Viktorovich Ushakov is Doctor of Psychological Sciences, Full Professor, RAS Corresponding Member. He was born on the May 12, 1964 in Moscow. In 1986, he graduated from the Psychology Department of M.V. Lomonosov Moscow State University. In 1991–1992 he has been undertaking post-doctoral internship training in University Paris-V (l'Université Paris Descartes). Since 1986 up to now D.V. Ushakov works at Institute of Psychology of RAS, where he has consecutively been a graduate student, junior research fellow, research fellow and senior research fellow. Since 2003, he works as the Head of the Laboratory of Psychology and Psychophysiology of Creative Activity. D.V. Ushakov developed and experimentally proved the structural-dynamic theory of

intelligence. In addition, he is a specialist and the author of the experimental methods in research of creativity, social and emotional intelligence. D.V. Ushakov develops the giftedness issues, and, in particular, he had proposed the concept of an intensive system of work with gifted children, in contrast to the extensive one. He had also devised a series of tests of social and emotional intelligence and creativity.

D.V. Ushakov had published more than 200 scientific writings, including 11 monographs.

Evgenij Nikolaevich Chernykh is Doctor of Historical Sciences, Full Professor, RAS Corresponding Member. He was born on the 11th of December, 1935, in Moscow. In 1953, he completed comprehensive secondary school and entered the Department of History of M.V. Lomonosov Moscow State University. During his learning he has been specializing in archaeology, and had graduated from the University in 1958. The same year E.N. Chernykh obtained employment as a laboratory assistant at Institute for the History of Material Culture of AS of the USSR. Since 1959, while working in the Institute, he has been taking an educational course at the Department of Metallurgy of Moscow Institute of Steel and Alloys, and had got a spectrum analyst engineering degree. E.N. Chernykh contributed substantively to the creation of the Laboratory of Natural Sciences Methods in Archaeology in Institute of Archaeology of RAS. In 1963, he defended his PhD thesis for the Degree of Candidate of Historical Science, and in 1972 he had got the Doctor of Historical Science Degree. The academic rank of Professor was conferred on him in 1994. E.N. Chernykh became a Foreign Corresponding Member of German Archaeological Institute (Deutsches Archäologisches Institut) in 1980, and was elected to the Russian Academy of Sciences in 2006.

Scopes of his scientific interests are: fundamental problems of archaeology, history of technology, ancient mining and metallurgical production in Eurasia.

E.N. Chernykh has been the organizer and participant of archaeological and geological-archaeological expeditions in many of Eurasian regions: Mongolia and Transbaikal,

Altai and the Pamir-Tien-Shan, desert areas of Central Asia, the Urals, Northern Black Sea region, North and South Caucasus, Asia Minor, the Balkans. These expeditions resulted in discovery of many striking monuments of mining and metallurgical production. Among the latest of them there are the oldest in northern Eurasia giant mining and metallurgical center Kargaly in the southern Urals and Ai Bunar in the Balkans - the most ancient across the whole of Eurasia copper mine (V century BC). The scientific community had recognized these historical remains as part of the world heritage.

From 1995 to date, E.N. Chernykh works as the Head of the Laboratory of Natural Science Methods in Archaeology in Institute of Archaeology of RAS. Since 1994, he participated actively in the organization and work of the Department of Nature Sciences Research Methods in Humanitarian Sciences of the Russian Foundation for Basic Research, where for several years he was the Chairman of the Expert Council. E.N. Chernykh authored over 500 scientific works including 20 monographs. His books and articles are published not only in Russian scientific and popular-scientific editions but also in the USA, Europe, and China.

Между алгеброй и гармонией: естественнонаучные методы в социо-гуманитарных науках

Д.В. Ушаков, Е.Н. Черных

Немало весомых и убедительных аргументов приведено для обоснования важности междисциплинарного взаимодействия как для прогресса фундаментальных знаний, так и для грамотного построения отношений человека с природой [1–3]. Однако реализовать такое взаимодействие на практике непросто. Научные организации и факультеты вузов, разделенные по отраслевому принципу, классификаторы научных фондов по дисциплинам, профильные диссертационные советы – все это приводит к тому, что уважение экспертного сообщества, высокая цитируемость и прочие знаки признания в науке проще всего достигаются работой в своей специальной области при благоразумном воздержании от внедрения на чужие территории.

Для проведения же междисциплинарных исследований ученому необходимо, во-первых, овладеть «языками» различных научных дисциплин и научиться осуществлять «перевод» между этими языками, а во-вторых, суметь убедить коллег в приемлемости и высокой эвристичности непривычных для них идей и ходов мысли. Поэтому междисциплинарное мышление – удел определенных групп людей, которым доставляет удовольствие преодолевать установленные рамками границы. Однако постепенно удачная «дерзость» канонизируется, формируя

«междисциплинарные дисциплины», которые обладают всеми признанными результативностью и научной респектабельностью. Тогда бывшая междисциплинарная область становится общепризнанной, обрастает инфраструктурой, институтами и встраивается в официальную рубрикацию, теряя тот привкус риска, который был ей присущ на первом этапе.

Таким образом, междисциплинарный поиск, будучи весьма перспективным с точки зрения развития фундаментальной науки и практики, требует специальной поддержки и стимуляции. Особенно важной такая поддержка представляется на начальных, поисковых этапах, когда междисциплинарный поиск оказывается наиболее сложным и уязвимым¹.

Междисциплинарные мосты между естественными и гуманитарными науками сложны и заманчивы вдвойне. С одной стороны, соединение важности гуманитарной проблематики с точностью подходов естественных наук обещает теоретические и практические прорывы, но с другой – способы мышления, «языки» гуманитариев отличаются от тех, что типичны для естественников, поскольку в основном оперируют более размытыми, менее четко определенными понятиями.

Именно поэтому ровно 20 лет назад, в 1996 г., «Вестник Российского фонда фундаментальных исследований» под рубрикой «Дискуссионная трибуна» опубликовал статью «Периоды "полураспада" российской науки: естественные науки и гуманитарии»². Поводом для ее написания послужили структурные перемены в Российском фонде фундаментальных исследований (далее – РФФИ, Фонд), хотя основной причиной появления статьи стали, без сомнения, чрезвычайно глубокие изменения в российской науке после распада Советского Союза. Статья была написана на фоне многочисленных проблем

¹ В некоторых случаях, впрочем, междисциплинарное сотрудничество после первоначальных успехов сталкивается с трудностями и приходит в упадок на более поздних этапах. Так, около трех десятилетий назад многие археологи и лингвисты с энтузиазмом приветствовали достижения в области палеолингвистики. В первую очередь это касалось истории тех народов, в среде которых, как полагали, протекало зарождение и формирование семьи индо-европейских языков. Лингвисты в своем свободном обращении с археологическими материалами создавали картину весьма привлекательную и перспективную [4]. Однако с годами нарастала масса новых материалов, расширился археологический арсенал естественнонаучных методов, и результатом этого явились резкие сдвиги, прежде всего, в глобальных шкалах археологической хронологии. Лингво-археологическая картина шаг за шагом утрачивала прежнюю видимую стройность, и на ее полотно стали все более заметными глубокие провалы между трудно совместимыми системами хронологии радиоуглеродной и глотто-хронологии лингвистов...

² Авторы статьи: член-корр. РАН, антрополог Т.И. Алексеева и д.и.н., археолог Е.Н. Черных – тогдашние председатель и заместитель председателя экспертного совета Отдела гуманитарных и общественных наук РФФИ.

российской науки, однако главной задачей было обратить внимание на крайне нежелательные процессы начавшейся самоизоляции естественных и гуманитарных дисциплин, что отразилось также и на структурах основных российских научных фондов.

РФФИ был образован постановлением Правительства РФ в 1992 г. Спустя два года из него был выделен Российский гуманитарный научный фонд. Тогда и встал весьма непростой вопрос о сохранении тесных и органических связей между науками естественными и гуманитарными. В 1994 г. в структуре РФФИ сформировали специальное подразделение, получившее название Отдела гуманитарных и общественных наук (много позднее его переименовали в Отдел естественнонаучных методов исследований в гуманитарных науках). Такое членение понравилось далеко не всем, и в него почти сразу полетело немало критических стрел. Та двадцатилетней давности статья и была в немалой степени нацелена на защиту такой структуры РФФИ, в которой названное подразделение было призвано осуществлять тесные контакты и взаимодействие между естественными и гуманитарными науками. Структуру РФФИ удалось тогда отстоять.

С того момента задача развития междисциплинарных контактов естественников и гуманитариев не стала менее важной, а обрела новые грани. Схематизируя, можно сказать, что социо-гуманитарные науки включены в три основные линии междисциплинарных связей: с биологией, науками о неживой природе и с математикой.

Одно из крупнейших достижений биологии последнего времени – расшифровка генома человека – уже привело к ряду прорывных результатов в социо-гуманитарных науках. Так, гены – один из источников индивидуальных различий у людей. Психологи еще до секвенирования человеческого генома путем тестирования родственников, в частности близнецов, сумели подсчитать, какую часть особенностей человеческого интеллекта, темпераментальных и личностных свойств определяет генетика, а какую – среда. Однако расшифровка генома знаменует следующий шаг, открывая, в частности, перспективу понимания роли кодируемых генами белков в работе нейронов и когнитивном функционировании в целом, т.е. к развитию когнитивной протеомики.

В последнее время стали поступать данные о влиянии эпигенетики, т.е. прижизненных изменений в экспрессии генов, на психологические свойства людей. Сегодня уже установлено, что метилирование ДНК воздействует на когнитивные способности,

учебные достижения и т.д., а значит, намечается выход этого направления исследований в область практических задач развития способностей и образования.

Созданные в течение последнего десятилетия методы оптогенетики позволили активировать и наблюдать отдельные нейроны в мозге животных и привели к открытиям, переносимым на человека. Так, продемонстрированы закономерности формирования памяти, которые раньше можно было предполагать лишь умозрительно.

Для антропологии и археологии секвенирование генома человека открыло волнующую возможность по останкам гоминид определять их отношения между собой и современным человеком, выявлять моменты расхождения эволюционных линий и их скрещивания, определять родственные отношения современных популяций, определять, какие свойства ныне живущие люди приобрели от неандертальцев, с какими инфекциями сталкивались и многое, многое другое. Именно анализ ДНК позволил идентифицировать костные останки, обнаруженные академиком А.П. Деревянко и его коллегами, как принадлежащие денисовцам, эволюционная линия которых обособилась от сапиенсов еще раньше неандертальцев. Палеоантропология, являясь своеобразным разделом биологической науки антропологии, строит свои узловое заключения на исследованиях костных человеческих останков, полученных при раскопках древних памятников. В этой науке без повсеместного применения специально разработанных компьютерных программ и обработки огромных баз данных становится практически невозможным получить сколько-нибудь значимые результаты.

За генетическим проектом следует новый, еще более масштабный по финансовым вложениям и потенциаль-

ной отдаче проект по изучению головного мозга человека. Объявленная президентом США Б. Обамой «Мозговая инициатива» (Brain Initiative) стоимостью в несколько миллиардов долларов направлена на описание «коннектома» мозга, т.е. совокупности связей между нейронами. Несмотря на проблемы, продвигается и миллиардный европейский «Проект исследования человеческого мозга» (Human brain project), который ставит целью компьютерное моделирование активности больших групп нейронов. Трудно переоценить возможное значение этих проектов для гуманитарных наук, а также их перспективное технологическое приложение. Новые подходы претендуют на то, чтобы пересмотреть проблему связи сознания с материей, которая отмечена трудами таких людей, как Декарт, Лейбниц и Мальбранш. Возникают захватывающие, но и пугающие перспективы протезирования мозга, соединения его со всемирной паутиной и создания сверхмощного искусственного интеллекта.

Необходимо отметить и влияние когнитивных исследований на изучение мозга. Изучение лишь физики и биохимии нейронных сетей подобно попытке изучения попавшего к нам инопланетного компьютера с позиции только физики протекающих в нем процессов без анализа заложенной логики вычислений. В этом плане когнитивные исследования выступают необходимой частью системы наук, ведущей работы по раскрытию тайны мозга.

Вторая линия междисциплинарных связей социо-гуманитарных наук – взаимодействие с науками о неживой природе: физикой, химией, геологией и т.д. Для таких дисциплин, как археология и антропология, исходной опорой служит материальная база. Археологические изыскания, кроме костей человека, вскрывают обыкновенно воистину

неисчислимы массы самых разнообразных материальных объектов: как созданных человеком артефактов, так и предметов иного характера, к человеческому творению прямого отношения не имеющих, но четко отражающих связи древних культур с природным окружением.

Все эти материальные – как искусственные, так и природные – объекты весьма «молчаливы» и при визуальном изучении открывают исследователям свои тайны с крайней неохотой. Ученые в состоянии их «разговорить» лишь с помощью методов естественных наук. Перечень подобного рода методов был весьма обширен и разнообразен: здесь представлен едва ли не весь блок дисциплин естественного цикла.

Радиоуглеродный метод датировки в течение десятилетий служит основой хронологии. Изотопы позволяют с достаточной долей уверенности определять местность, в которой человек провел тот или иной период своей жизни. Антропогенез и история человечества протекали в зависимости от геологических и климатических процессов. Химический и физический анализ артефактов, в частности металлических орудий и украшений, позволяет выносить заключение об архаичных технологиях. Этот ряд можно не продолжать: очевидно, что деятельность следопыта, необходимая археологам и антропологам для реконструкции прошлого, невозможна без физики, химии, геологии, климатологии и других наук.

Благодаря исследованию методами естественных наук произошло воссоздание отчетливого эскиза генеральной картины развития множества совокупностей культур и общностей на базе изучения огромной массы разнообразных материалов, рассеянных по разным континентам и датированных в рамках всего миллионного ледникового периода (плейстоцена). Совершенно по-иному на тех же огромных пространствах предстала для постледникового периода (голоцена) хронологическая глобальная многотысячелетняя календарная шкала культур, воссозданная на базе анализов радиоуглеродного изотопа ^{14}C и дендрохронологии.

Однако и для некоторых других социо-гуманитарных областей методы, строящиеся на достижениях наук о неживой природе, имеют не меньшее значение. Разработки физиков позволяют отслеживать процессы, происходящие в человеческом теле, в том числе в головном мозге. Различные варианты нейровизуализации: магнитно-резонансная, позитронно-эмиссионная, диффузионно-тензорная томография, магнитная электроэнцефалография и т.д., позволяют отслеживать метаболизм и электромагнитную

активность в различных областях работающего мозга, а также определять особенности его строения и размеров у живых испытуемых. В результате у психологов появляется возможность исследовать структуры мозга, вовлеченные в различные виды когнитивной деятельности, у лингвистов – следить за мозгом в процессе порождения или понимания речи, а у экономистов – развивать нейроэкономику, т.е. исследование деятельности мозга в процессе принятия экономических решений.

Наконец, третья линия междисциплинарного взаимодействия социо-гуманитарных наук – с математикой. Если раньше социо-гуманитарные науки с достаточным основанием противопоставлялись точным, то в настоящее время хорошее социо-гуманитарное исследование обязано быть точным. Объем математической подготовки по многим социо-гуманитарным профилям в передовых мировых университетах достиг высокого уровня и продолжает расти.

Запросы социо-гуманитарных наук в отношении математики специфичны. Поскольку объекты этих наук сложны и действие отдельных факторов оказывается зашумлено другими, для достоверного вычленения закономерностей требуется мощный статистический аппарат. В результате социо-гуманитарные науки выступили серьезным заказчиком для развития математической статистики. Факторный анализ, линейно-структурное моделирование, обобщенные линейные модели, теория ответов на тестовые задания (Item Response Theory) – эти и многие другие отрасли разработаны математиками в ответ на запросы экономистов, социологов, психологов.

С математическим моделированием дело обстоит сложнее. Исторически математические модели начали применяться в естествознании, что оказывало существенное влияние на область интересов математики в течение столетий. Из социо-гуманитарных областей математическое моделирование впервые стало широко практиковаться экономистами, причем исходно были востребованы области математики, развившиеся на базе естествознания. Такой подход актуален и в настоящее время: так, экономическая физика использует аппарат теоретической физики для формализации и решений сложных социально-экономических проблем. Современная экономическая физика адаптирует для своего использования, например, такой специфический инструмент квантовой теории поля и квантовой механики, как функциональный (континуальный) интеграл.

Вместе с тем экономическая наука сама стала активно стимулировать разработку специальных инструментов, как это было, например, с теорией игр. Вовлечение различных социо-гуманитарных наук в этот процесс расширяет запрос в отношении различных областей математики. Так, хотя теория графов известна со времен Гаусса, именно сегодня, с развитием социо-гуманитарных исследований, она начинает находить все более широкое приложение. Сообщества людей, их контакты и обмены, связи слов языка и ассоциаций в сознании – все это сети, характеристики и закономерности которых могут быть описаны на языке теории графов³.

В интересах социо-гуманитарных наук, в первую очередь – экономической, развивается агентно-ориентированное моделирование, предназначенное для создания и практического использования широкого класса оригинальных вычислимых моделей, которые базируются на учете индивидуального поведения множества автономно существующих агентов. Агентно-ориентированные модели позволяют проводить компьютерные симуляции реальных социально-экономических явлений и оценивать влияние микроагентов на показатели состоящих из них макросистем.

Аппарат теории искусственного интеллекта и математика эволюционных процессов, теория самовоспроизводящихся автоматов и теория игр автоматов, биологическая топология Р. Тома и синергетика – все эти и многие другие области математики могут быть применены к описанию объектов социо-гуманитарных наук.

Публикуемые ниже статьи отражают некоторые аспекты социо-гуманитарных исследований с использованием методов точных наук,

³ Особый род объектов составляют нейронные сети, которые описываются в динамике их функционирования. Их математические модели представляют интерес не только для нейрофизиологов, но и для когнитивных психологов.

выполненных при поддержке РФФИ. Они представляют все поддерживаемые Фондом направления: антропологию, археологию, историю, лингвистику, психологию, социологию и экономику.

В настоящем выпуске направление «Археология» представлено двумя статьями. Статья «Археология и история: хронологическо-методологический диссонанс наук (методы естественных дисциплин в археологии)», автором которой является член-корреспондент РАН Е.Н. Черных, посвящена одному из неожиданных и порой кажущихся трудно объяснимыми парадоксов, которые возникают при взаимодействии естественных и гуманитарных наук. В ней обсуждается хронологическо-методологический диссонанс между двумя родственными науками – археологией и историей. Причем динамика этого диссонанса нарастает едва ли не прямо пропорционально насыщенности археологической практикой естественнонаучными методами.

Статья А.П. Деревянко, В.И. Молодина, М.В. Шунькова «Междисциплинарные исследования в археологии Северной Азии» излагает концепцию антропогенеза, сложившуюся в работах авторов. Согласно этой концепции «происходило независимое становление ранних форм человека разумного – африканской в Восточной и Южной Африке, ориентальной – в Восточной и Юго-Восточной Азии, неандертальской и алтайской – на территории остальной части Евразии, которые в разной степени внесли вклад в формирование анатомически современного человека». Для выработки и обоснования этой концепции использовано множество данных естественных наук от палеогенетики и геофизики до петрографии и палинологии.

Направление «История» представлено статьей Л.И. Бородкина и Д.И. Жеребятьева. Профессор

Л.И. Бородкин известен своими математическими моделями исторических процессов. В частности, широко цитируется его работа, где с помощью системы дифференциальных уравнений моделировались Столыпинские реформы. Однако статья, публикуемая в этом номере журнала, демонстрирует другой вариант междисциплинарного взаимодействия истории – с информатикой. В статье описано создание трехмерной компьютерной реконструкции монастырского комплекса.

Направление «Психология» также представлено двумя статьями. В статье Б.М. Величковского, М.В. Ковальчука, В.Л. Ушакова и М.Г. Шараева реализуется когнитивный подход к сознанию. Когнитивная наука сама по себе образец междисциплинарности. Обычно считается, что она образована на стыке четырех научных дисциплин: психологии, нейрофизиологии, лингвистики и искусственного интеллекта. Однако в действительности междисциплинарные взаимодействия в этой сфере еще богаче и хороший пример дает публикуемая статья, в которой применены подходы теоретической физики. В частности, для объяснения электромагнитной активности мозга и феноменов флуктуации внимания применяется модель бегущей волны.

Вторая статья, представляющая психологию (Л.С. Куравский, П.А. Мармалюк и Г.А. Юрьев), демонстрирует другое направление междисциплинарного синтеза. Статья посвящена разработке математических методов для описания движения глаз. Движения глаз не только раскрывают потаенные механизмы решения задач человеком, но многое говорят о его индивидуальности, в том числе когнитивных способностях, компетентности и т.д. Принципиальный вопрос, однако, заключается в создании адекватных методов описания этого процесса, выделения в нем параметров, которые могут быть соотнесены с индивидуальными особенностями. Авторы статьи предлагают рассматривать их как Марковские процессы и разрабатывают на этой основе модель. Модель, как показывают авторы, может быть использована в таких практически важных вопросах, как оценка летного мастерства пилотов или эргономики системы управления самолетом.

Направление «Лингвистика» представлено статьей Т.А. Больгиной и др. по проблеме латерализации речевой функции. Под латерализацией понимается неодинаковая представленность речевых механизмов в правом и левом полушариях головного мозга человека. В популярной литературе нередко можно прочесть, что речь связана с левым полушарием,

в то время как правое полушарие – невербальное. В действительности, однако, дело обстоит намного сложнее: в мозге разных людей локализация речевых функций может различаться. Определение латерализации речевых функций – достаточно сложная задача. Наилучшее современное ее решение – использование функциональной магнитно-резонансной томографии мозга в процессе выполнения испытуемыми набора разнообразных заданий на слушание и порождение речи. Разработав набор репрезентативных заданий для русскоязычных испытуемых, авторы показывают, что у правой речевые центры имеют тенденцию располагаться в левом полушарии, у левой – в правом, а у амбидекстеров – в обоих. Однако это тенденция, а не непреложное правило. В дальнейшем авторы собираются проверять гипотезу, что лучшим предиктором латерализации речевых центров является не сама по себе право- или леворукость, а генетическое предрасположение к ней.

Направление «Антропология» представлено исследованием М.Л. Бутовской, которое проведено в уникальных условиях: на выборках различных африканских племен в Танзании. Некоторое время назад было принято считать, что действие естественного отбора с возникновением исторического человечества заканчивается. Однако современные исследования демонстрируют, что это не совсем так. Например, в настоящее время в западноевропейских и североамериканских странах как мужчины, так и женщины с высоким интеллектом имеют в среднем меньше детей, чем остальная популяция. Это вызывает у некоторых ученых опасения по поводу «дисгении» западного человечества, т.е. снижения генетического интеллекта с течением времени. М.Л. Бутовская показывает, что при полигамном устройстве семьи, принятом у ряда африканских племен, преимущество в количестве потомства имеют более маскулинные мужчины, т.е. у кого выше уровень тестостерона в крови и развито соответствующее поведение, в частности агрессивность. При моногамной семье, однако, репродуктивное преимущество маскулинных мужчин исчезает. Поскольку маскулиность имеет генетические основания, получается, что устройство семьи влияет на то, какие свойства людей становятся более распространенными в следующих поколениях и куда, следовательно, движется биологическая эволюция человечества.

В статье С.Г. Климовой, М.А. Михеенковой и В.К. Финна обсуждается применение в социологии ДСМ-метода. ДСМ-метод (от англ. JSM – John Stuart Mill) – логико-комбинаторный (нестатистический)

метод, основанный на использовании современных логических средств и предназначенный для анализа каузальных зависимостей между комбинациями признаков (характеристик объектов) и искомым эффектом/множеством эффектов (свойств объектов), который направлен на выявление паттернов, сопутствующих возникновению того или иного признака. ДСМ-метод может рассматриваться как альтернатива некоторым статистическим подходам и, в отличие от них, не столь требователен к размеру выборки, а также, возможно, более ясно соответствует природе изучаемых явлений.

Статьи по направлениям «Экономическая наука» и «Социология» в одном отношении могут быть объединены – в них разрабатываются новые методы моделирования и формализмы, пригодные для описания слабоструктурированных объектов, с которыми имеют дело социо-гуманитарные науки. Статья экономистов Е.Ю. Хрусталева и О.Е. Хрусталева сосредоточена на применении методов семантического моделирования, которые основываются на «мягких» вычислительных процессах и позволяют на качественном уровне исследовать слабо структурируемые ситуации и системы. Переменные в них – качественные (лингвистические), а не количественные, то есть их значениями являются не числа, а слова и фразы естественного языка; взаимосвязи между лингвистическими переменными определяются не посредством математических уравнений, а задаются семантически – также с помощью естественного языка; критерии оценки определяются качественными рекомендациями по эффективности, предпочтительности, желательности или недопустимости каждого полученного варианта решения.

Конечно, представленные в этом номере журнала статьи отражают лишь небольшую часть социо-гу-

манитарных исследований, поддерживаемых РФФИ. Однако уже они позволяют оценить разнообразие и богатство направлений междисциплинарного сотрудничества социогуманитарных и естественных наук. В целом, за последние два десятилетия прогресс в этом направлении оказался весьма впечатляющим. В результате исследований, проведенных с использованием естественнонаучных методов, неизмеримо выросли как число, так и перечень работ, отражающих все инновации подобного рода. Разнообразные по тематике книги и крупные знаковые статьи российских ученых публиковались не только в издательствах РФ, но также в Америке, Европе, Китае.

В настоящее время социогуманитарные дисциплины в полном объеме возвращаются в Российский фонд фундаментальных исследований. Это событие должно означать увеличение внимания к междисциплинарности, в особенности – к междисциплинарным связям

точных и гуманитарных наук. Только энергичные действия в этой сфере могут помочь отечественной социогуманитарной науке занять достойное место на международной арене перед лицом вызовов, которые ставит время. А вызовы эти актуальны и остры – возможное влияние на природу человека и общества технологий, имеющих естественнонаучную основу, составляет наиболее горячий пункт современной футурологии. Одни футурологи, как, например, технический директор Google Р. Курцвейл, оптимистично оценивают перспективу в контексте «улучшения человеческой функциональности» (human enhancement) и развития искусственного интеллекта [5]. Другие, подобно Ф. Фукуяме, предупреждают о рисках, связанных с разработкой новых способов воздействия на психику [6]. А относительно недавно основатель концерна Майкрософт Б. Гейтс, инновационный предприниматель И. Маск и физик-теоретик С. Хоккинг привлекли внимание к опасностям, связанным с развитием искусственного интеллекта [см.: <http://observer.com/2015/08/stephen-hawking-elon-musk-and-bill-gates-warn-about-artificial-intelligence/>]. Во всех случаях развитие исследований в области естественнонаучных основ социогуманитарных наук в нашей стране – единственный путь к тому, чтобы сохранять готовность встретить технологическую революцию, которая может произойти в этой области.

Литература ●

1. **И.Ю. Алексеева, В.И. Аршинов, В.В. Чеклецов**
Вопросы философии, 2013, №3, 12.
2. **М.В. Ковальчук, О.С. Нарайкин, Е.Б. Яцишина**
Вопросы философии, 2013, №3, 3.
3. **В.С. Степин**
Теоретическое знание, Москва, Прогресс-Традиция, 1999, 390 с.
4. **Т.В. Гамкрелидзе, В.В. Иванов**
Индоевропейский язык и индоевропейцы: Реконструкция и историко-типологический анализ праязыка и протокультуры, в 2-х тт., Тбилиси, Изд. Тбилисского Университета, 1984.
5. **R. Kurzweil**
How to Create a Mind: The Secret of Human Thought Revealed, USA, NY, New York, Viking Press, 2012, 363 pp.
6. **Ф. Фукуяма**
Наше постчеловеческое будущее: Последствия биотехнологической революции, Москва, ООО «Издательство АСТ», ОАО «ЛЮКС», 2004, 349 с.

Between Algebra and Harmony: Natural Sciences Methods in Socio-Humanitarian Sciences

D.V. Ushakov, E.N. Chernykh

There are many substantial and convincing arguments to justify the importance of multidisciplinary cooperation for both the progress of fundamental knowledge and competent building of relationship between human kind and nature (see, for example, [1-3]). However, it is not easy to implement such cooperation in practice. Existence of scientific institutions and faculties of universities separated according to the sectoral principle, classifiers of research foundations by disciplines, specialized dissertation boards, – all this leads to the fact that respect of the expert community, high quotation index and other signs of recognition in science are easier to achieve working in a special area and prudently avoiding to invade into other areas.

To carry out the interdisciplinary research, the scientist must, firstly, master the “language” of different scientific disciplines, learn to implement “translation” between these languages, and secondly, be able to persuade colleagues of admissibility and high heuristicity of unusual ideas and lines of thought. Therefore, interdisciplinary thinking is a fortune of certain groups of people, who are pleased to overcome the established frameworks. Gradually, however, the successful “impudence” is canonized, forming “interdisciplinary disciplines”, which own the recognized efficiency and scientific respectability. Then former interdisciplinary area becomes universally accepted, acquires the infrastructure, institutions, and is incorporated into formal rubrication, losing the taste of risk it has had at a previous stage.

Thus, interdisciplinary search, being very promising from the standpoint of development of fundamental science and practice, requires special support and stimulation. This support is especially important at the initial stages of search, when interdisciplinary investigation is the most difficult and vulnerable¹.

Interdisciplinary bridges between the natural sciences and the humanities are complex and doubly tempting. On one hand, the combination of humanitarian issues

importance and the natural sciences methods precision promises us theoretical and practical breakthroughs, but on the other hand, ways of thinking of humanitarians differ from those typical for the natural scientists, because the former mostly operate by a more diffuse, less clearly defined concepts.

That is why 20 years ago, in 1996, the “Russian Foundation for Basic Research Journal” under “Discussion forum” published an article ““Half-Life Periods”” of Russian Science: the Natural Sciences And the Humanitarians”². The pretexts for its writing were structural changes in the Russian Foundation for Basic Research (hereinafter – RFBR, Foundation), although the main reasons for its publication were, no doubt, extremely deep changes in Russian science after the disintegration of the Soviet Union. The article was written against the background of numerous problems of Russian science, but its main objective was to pay attention to the highly undesirable incipient processes of self-isolation of the natural sciences and the humanities, that were also reflected in the structures of main Russian scientific funds.

The RFBR was established by Russian Government decree in 1992. Two years later the Russian Foundation for Humanities has been separated out from the RFBR. Then a very difficult question about preservation of close and organic links between the natural sciences and the humanities has arisen.

¹ In some cases, however, the interdisciplinary cooperation after the initial success encounters difficulties and declines in the later stages. For example, about three decades ago, many archaeologists and linguists enthusiastically welcomed the achievements in the area of paleolinguistics. This primarily concerned the history of those peoples, among whom, as it was supposed, the origin and formation of Indo-European language family began. Linguists, interpreting the archaeological materials freely, created a very attractive and promising historical picture [4]. But, year by year, the mass of new materials grew, and the archaeological arsenal of the natural science methods expanded. The result was a dramatic shift, especially in the global scales of the archaeological chronology. Step by step, lingvo-archaeological picture lost its visible harmony. Its canvas acquired more and more visible rifts between hardly compatible systems of radiocarbon chronology and linguists' glotto-chronology.

² The authors of the article were corresponding member of Russian Academy of Sciences, anthropologist T.I. Alekseeva and doctor of historical sciences, archaeologist E.N. Chernykh – the then Chairman and Deputy Chairman in the Expert Council of the Department of humanities and social sciences, Russian Foundation for Basic Research.

In 1994, in the structure of the RFBR a special division, called the Department of humanities and social sciences, was formed (much later it was renamed to the Department of the natural sciences research methods in humanities). Not everyone was fond of this division, and, almost immediately, many critical arrows flew. That article of 20 years ago was largely aimed to protect the RFBR structure, in which the aforementioned Department was intended to provide close contact and interaction between the natural sciences and the humanities. At that time structure of the RFBR was defended.

Since that moment, the task to develop interdisciplinary contacts between the natural scientists and the humanitarians did not become less important, but acquired some new facets. Simplifying, we could say that the socio-humanitarian sciences were included into three main lines of interdisciplinary communications: with biology, with sciences on inanimate nature and with mathematics.

One of the major recent achievements of biology is a decryption of the human genome. It has already led to a number of breakthrough results in the socio-humanitarian sciences. The genes are one of the sources of individual differences between humans. Even before the sequencing of the human genome by testing relatives, particularly twins, psychologists have been able to calculate which part of the specialties of human intellect, temperamental and personal features were determined by genetics and which - by environment. However, the genome decryption marks the next step, opening up, for example, the prospect of understanding the role of proteins, encoded by genes, in the neuronal and cognitive functionings in general, i.e., to the cognitive proteomics development.

Recently scientists began to receive data on the influence of epigenetics, that is intravital changes in gene expres-

sion, onto the psychological features of people. Today it is clear that DNA methylation affects cognitive abilities, academic achievements, etc., and, therefore, this direction of research goes into the area of practical tasks of abilities development and education.

The optogenetic methods, created during the last decade, allowed to activate and observe individual neurons in the brains of animals and led to discoveries that could be transposed onto people. Thus the regularities of memory formation, which previously could only be presupposed speculatively, have been demonstrated.

In anthropology and archaeology sequencing of the human genome has opened an exciting opportunity by analysis of the hominids remains to determine relationships of hominids to each other and to modern humans, to reveal the points of divergence and crosses of the evolutionary lines, to determine the kinship ties of modern populations, to set features of modern human beings acquired from Neanderthals, infections they faced in the past, and much, much more. It is the DNA analysis that allowed to identify skeletal remains, discovered by academician A.P. Derevyanko and his colleagues, as belonging to the Denisovans, whose evolutionary line was separated from sapiens before the Neanderthals. Paleoanthropology, being a kind of section of anthropological biological science, constructs its key conclusions on studies of bone human remains obtained during the excavations of ancient monuments. This science is incomplete without the widespread use of specially elaborated computer programs and processing of huge databases.

Following the genetic project, a new endeavor on the human brain research comes, which is even more ambitious in terms of financial investments and the potential benefits than the first one. Declared by the USA President Barack Obama, "Brain Initiative" is worth several billion dollars, and is directed to the description "konnektoma" of the brain, i.e., combination of connections between neurons. Despite the challenges, the European billion-dollar "Human Brain Project", aimed at computer simulation of activity of large groups of neurons, is advanced. It is difficult to overestimate the potential value of these projects for the humanities, as well as their prospective technological application. New approaches aspire to reconsider the problem of relationship between consciousness and matter, which is marked in the works of such scientists as Descartes, Leibniz and Malebranche. There appear fascinating but frightening prospects for human brain prosthetics, brain connection with the worldwide web, and the creation of heavy-duty artificial intelligence.

It should be noted also the influence of cognitive research on the brain study. The research on only physics

and biochemistry of neural networks is similar to an attempt to study an extraterrestrial computer from the position of only its physical processes without analysis of its inherent logic of computation. In this regard, cognitive research is a necessary part of the large-scale attack on the brain enigmas.

The second line of the socio-humanitarian sciences' interdisciplinary links is their cooperation with sciences on inanimate nature: physics, chemistry, geology, etc. For such disciplines as archaeology and anthropology, primary support is a material base. Besides human bones, archaeological researches reveal really incalculable mass of various material objects, both man-made artefacts and objects of a different nature that do not have direct relationship to human activity, but clearly reflect links of ancient cultures with their natural environment.

All these materials – both artificial and natural – are rather “silent” for visual analysis; they reveal their secrets to scientists with an extreme reluctance. Scientists are able to make them “talk” only using methods of the natural sciences. The list of such methods is very extensive and diverse: it represents almost the entire block of natural disciplines.

The radiocarbon method of dating served the basis of chronology for decades. Isotopes with sufficient measure of certainty allow us to identify the area, in which a person has spent a particular period of his life. The anthropogenesis and human history proceeded depending on geological and climatic processes. Chemical and physical analysis of artefacts, inter alia, metal tools and jewelry, allows scientists to make a conclusion about archaic technology. This listing might be stopped here: it is obvious that the “trailblazer” activity, necessary for archaeologists and anthropologists to reconstruct the past, is impossible without physics, chemistry, geology, climatology and other sciences.

By means of the natural sciences methods, the clear general picture for development of different sets of cultures and communities was restored. This research was based on the study of the huge mass of various materials, scattered in continents and dated within million-year Glacial age (Pleistocene). Completely different on the same vast spaces appeared to be the global millennial chronology of cultures for Postglacial age (Holocene) that was recreated by the radiocarbon analyses of ^{14}C and isotope dendrochronology.

However, for some other socio-humanitarian areas the methods based on the achievements of sciences on inanimate nature are of equal importance. Works of physicists allow to trace processes occurring in the human body, including the brain. Various options of neurovisualiza-

tion (magnetic resonance, positron emission, diffusion tensor tomography, magnetic electroencephalography, etc.) permit to monitor the metabolism and the electromagnetic activity in different parts of the working brain, as well as to determine features of its structure and size in the living testees. As a result, psychologists obtain an opportunity to research the brain structures involved into various kinds of cognitive activities, linguists can investigate the brain in the process of generating or understanding speech, and economists can develop the neuroeconomics, that is to study the brain activity in a process of making economic decisions.

Finally, the third line of interdisciplinary cooperation of the socio-humanitarian sciences is the interaction with mathematics. If earlier the socio-humanitarian sciences were reasonably counterposed to the exact ones, today advanced socio-humanitarian research must be precise. The amount of mathematical training, having reached a high level within many specializations of socio-humanitarian profiles in advanced world universities, still continues to grow.

The socio-humanitarian sciences requests for mathematics are special. The objects of these sciences are complex, and effects of some individual factors are masked by others, so the reliable determination of the specific regularities requires the powerful statistical tools. As a result, the socio-humanitarian sciences became a serious customer for development of the mathematical statistics. Factor analysis, linear structural modelling, generalized linear models, the Item Response Theory – these and many other areas were elaborated by mathematicians as response to the requests of the economists, sociologists and psychologists.

In the mathematical modelling the situation is more complicated. Historically, mathematical models have begun to be applied in the natural sciences, and

this practice has been having a significant impact on the mathematics sphere of interest for centuries. In sphere of the socio-humanitarian sciences for the first time the mathematical modelling was widely practiced by economists, and primarily those branches of mathematics were demanded that developed on the basis of the natural sciences. This approach is still relevant: for example, econophysics uses the apparatus of theoretical physics in order to formalize and solve complex socio-economic problems. Modern econophysics adapts for its own purposes, for example, such a specific tool of the quantum field theory and quantum mechanics as a functional (continual) integral.

Besides, economics itself had actively begun to stimulate elaboration of special tools, such as the methods of the game theory. The involvement of different socio-humanitarian sciences in this process expands the request to various branches of mathematics. Thus, although the graph theory is known since Gauss, it is today, when the socio-humanitarian research develops, that this theory is increasingly used. Human communities, their contacts and exchanges, links between language words and conscious associations – all these phenomena are networks, characteristics and regularities of which can be described in the language of the graph theory³.

In the interests of the socio-humanitarian sciences and of the economics primarily the agent-oriented modelling develops. It is designed for creation and application of a wide range of the original computable models, based on account of the individual behavior of multitude of autonomously existing agents. Agent-oriented models allow to create computer simulation of real socio-economic phenomena and to estimate the micro-agents influence on indicators of macro-systems, consisting of them.

The apparatus of the artificial intelligence theory and the mathematics of evolutionary processes, the theory of self-reproducing automata and the automata games theory, biological topology by R. Thomas and synergy – all these and many other areas of mathematics could be applied to the description of the socio-humanitarian sciences' objects.

The following articles reflect some aspects of the socio-humanitarian studies using the methods of exact sciences that were carried out with the support of the RFBR. They represent all the scientific directions supported by the Foundation: anthropology, archaeology, history, linguistics, psychology, sociology and economics.

In this issue the "Archaeology" section is presented by two papers. The article "Archaeology and history: chronological and methodological dissonance of sciences (natural sciences methods in archeology)", written by corresponding member of RAS E.N. Chernykh, is devoted to one of unexpected and sometimes seemingly inexplicable paradoxes that arise at the interaction of the natural sciences and the humanities. It discusses chronological and methodological dissonance between two close sciences – archaeology and history. Moreover, the dynamics of this dissonance grows almost in direct proportion to repletion of archaeological practice with the natural sciences methods.

The article by A.P. Derevyanko, V.I. Molodin and M.V. Shunkov "Multidisciplinary studies in archaeology of Northern Asia" expounds the concept of anthropogenesis, developed in the works of the authors. According to this concept "an independent formation of the earliest forms of Homo sapiens occurred: the African form – in Eastern and Southern Africa, the Oriental form – in the East and South-East Asia, the Neanderthal and the Altai forms – in the territory of the rest of Eurasia, all of them in different measures contributed to the formation of anatomically modern human". To elaborate and justify this concept the broad data of the natural sciences – from paleogenetic and geophysics to petrology and palynology – were used.

The "History" section is represented by the study of L.I. Borodkin and D.I. Zhrebyatev. Professor L.I. Borodkin is known for his mathematical models of historical processes. In particular, widely cited are his works, in which Stolypin's reforms were modelled by means of a system of differential equations. However, the article published in this issue shows another option of multidisciplinary interaction between history and informatics.

³ A special kind of objects are neural networks described in the dynamics of their functioning. Their mathematical models are of interest not only to neurophysiologists, but to cognitive psychologists as well.

The article considers the modelling of three-dimensional reconstruction of the monastery complex.

The “Psychology” section is also presented by two articles. In the article by B.M. Velichkovskiy, M.V. Kovalchuk, V.L. Ushakov and M.G. Sharaev the cognitive approach to consciousness is realized. Cognitive science itself is a model of interdisciplinarity. It is generally believed that cognitivism is formed at the junction of four scientific disciplines: psychology, neurophysiology, linguistics and artificial intelligence. In reality, however, the interdisciplinary cooperation in this area is even richer, and the aforementioned article, implementing the approaches of theoretical physics, gives a good example of such study. In particular, authors used the model of running wave to explain the electromagnetic activity of the brain and the fluctuation of attention phenomena.

Next article (by L.S. Kuravskiy, P.A. Marmalyuk and G.A. Yurev), representing the psychology science, demonstrates another direction of interdisciplinary synthesis. The article is dedicated to elaboration of the mathematics methods to describe eyes movement. Eyes movements not only reveal the hidden mechanisms of tasks solution by human, but also say a lot about his personality, including cognitive abilities, competence, etc. The ultimate question, however, is how to create adequate methods to describe this process highlighting its parameters, which can be associated with individual peculiarities. The authors of the paper offered to consider the eyes movements as the Markov processes and elaborated a model based on this suggestion. The model, as the authors have shown, can be used in such practically important issues as estimation of flying skills of pilots or of ergonomics of the aircraft control system.

The “Linguistics” section is presented by the article of T.A. Bolgina and her co-authors, which addresses the problem of lateralization of language functions. The “lateralization” term means the unequal representation of the speech mechanisms in the left and right hemispheres of the human brain. In popular science books we can often read that human speech is associated with the left hemisphere of the brain, and the right hemisphere is non-verbal. However, actually the situation is much more complex: in the brains of various people the localization of speech functions may differ. The determination of lateralization of speech functions is a rather difficult task. The best its modern solution is to use functional magnetic resonance imaging of the brain while the subjects perform various tasks on both listening and speaking. Elaborating a set of representative tasks for Russian-speaking testees, the authors showed that right-handers have speech centers tending to be located in the left hemisphere, the left-handers – in the right hemisphere,

and ambidexters – in both. This is a tendency, however, not a general rule. In future, the authors intend to test the hypothesis that the best predictor of lateralization in speech centers is not the right- or left-handedness itself, but genetic propensity to it.

The “Anthropology” section is presented by M.L. Butovskaya's study, which was held in the unique conditions – namely in the sampling frame of different African tribes in Tanzania. Some time ago, it was assumed that the action of natural selection had ended with the emergence of the historical human kind. However, modern researches show that this is not completely true. For example, in the West European and North American countries nowadays both men and women with a high level of intelligence have on average fewer children than the rest of the population. This causes some scientists' fears of “dysgenic effects” in Western humanity, i.e., reduction of genetic intellect in time. M.L. Butovskaya shows that under a polygamous family system, adopted in a number of African tribes, more masculine men have chances for larger progeny, i.e. those men who have higher level of testosterone and show the appropriate behavior, such as aggressiveness. In monogamous family, however, the reproductive advantage of a masculine man disappears. Since masculinity has a genetic basis, it appears that the family unit structure affects the properties, which would be predominantly inherited by the next generations, and the direction of the humanity biological evolution.

S.G. Klimova, M.A. Mikheenkova and V.K. Finn discussed the use of the JSM method in sociology. The JSM method (John Stuart Mill's method) is the logical-combinatorial (non-statistical) method, based on the use of modern means of logic, and is designed for the analysis of the causal links between the combinations of attributes (characteristics of objects) and the desired

effect / the set of effects (object properties). This method is aimed at the detection of patterns, which accompany the genesis of particular features. The JSM method can be considered as an alternative to some statistical approaches. Unlike them, it is not so demanding for the sample size, and, possibly, it correlates to the nature of phenomena under research more closely.

Articles in the areas of the “Economic science” and the “Sociology” could be combined in terms of developing new modelling methods and formalisms that fit to describe poorly structured objects, with which the socio-humanitarian sciences deal. Economists E.Yu. Khrustalev and O.E. Khrustalev focused on the application of the semantic modelling methods, which are based on “soft” computational processes and allow to explore poorly structured situations and systems at professional level. Their variables are qualitative (linguistic ones), not quantitative, i.e. their values are not numbers but words and phrases of the natural language; the interaction between linguistic variables is defined not by mathematical equations, but semantically – by means of the natural language; the estimation criteria are determined by qualitative recommendations on effectiveness, preference, desirability or unacceptability of each obtained decision.

Certainly, the articles presented in this issue reflect only a small part of the socio-humanitarian researches supported by the RFBR. However, they

allow us to estimate the diversity and richness of areas of interdisciplinary collaboration between the socio-humanitarian and the natural sciences. In general, over the last two decades the progress in these spheres was very impressive. As a result of researches undertaken with the application of the natural science methods, both number and variety of works, reflecting all the innovations of this kind, increased significantly. Diverse books and landmark articles of Russian scientists were published not only in Russia, but also in America, Europe, and China.

The socio-humanitarian disciplines are currently coming back to the Russian Foundation for Basic Research in full scope. This event should mark an increased attention to multidisciplinary, especially to interdisciplinary relations of the exact sciences and the humanities. Only vigorous actions in this area can help the Russian socio-humanitarian sciences to take the rightful place on the international scene in the face of challenges posed recently. These challenges are actual and sharp. Possible impact of the technologies, having the natural sciences basis, on human nature and society is the most urgent item of modern futurology. Some futurists such as, for example, Google Director of Engineering R. Kurzweil, are optimistic about the prospects of “human enhancement” and development of artificial intelligence [5]. Others, like the author of “The End of History and the Last Man” F. Fukuyama, warn about the risks linked to the elaboration of new ways of influencing the psyche [6]. The founder of Microsoft Corporation W.H. Gates, the innovative businessman E.R. Musk and theoretical physicist S.W. Hawking in their recent joint statement drew our attention to dangers linked to the development of artificial intelligence [see: <http://observer.com/2015/08/stephen-hawking-elon-musk-and-bill-gates-warn-about-artificial-intelligence/>]. In any case, the development of research in the area of the natural sciences basis for the socio-humanitarian sciences in our country is the only way to maintain our readiness to encounter the technological revolution that may occur in this field.

References

- I.Yu. Alekseeva, V.I. Arshinov, V.V. Chekletsov**
Voprosy Filosofii [Philosophy issues], 2013, №3, 12 (in Russian).
- M.V. Kovalchuk, O.S. Naraykin, E.B. Yatsishina**
Voprosy Filosofii [Philosophy issues], 2013, №3, 3 (in Russian).
- V.S. Stepin**
Theoretical Knowledge [Teoreticheskoe znanie], Moscow, Progress-Tradition Publ., 1999, 390 pp. (in Russian).
- T.V. Gamkrelidze, V.V. Ivanov**
Indo-European and Indo-Europeans: A Reconstruction and Historical Typological Analysis of A Protolanguage and A Protoculture, 2-Vol. Ed. [*Indo-evropeyskiy yazyk i indo-evropeytsy: Rekonstruktsiya i istoriko-tipologicheskiy analiz prayazuka i protoculture, v 2-kh tt.*], Tbilisi, Publ. House of Tbilisi State University, 1984 (in Russian).
- R. Kurzweil**
How to Create a Mind: The Secret of Human Thought Revealed, USA, NY, New York, Viking Press, 2012, 363 pp.
- F. Fukuyama**
Our Posthuman Future: Consequences of the Biotechnology Revolution, USA, NY, New York, Farrar, Straus, and Giroux Publ., 2002, 256 pp.

Археология и история: хронологическо-методологический диссонанс наук (методы естественных дисциплин в археологии) *

Е.Н. Черных

Всеобщая история человечества насчитывает около 2.6 млн лет, совпадая с так называемым четвертичным геологическим периодом. Ее исследование находится в преимущественном ведении двух научных дисциплин – собственно истории и археологии. Для исторической дисциплины важнейшей и, по сути, единственной базой исследований является анализ письменных документов, что служит жестким барьером для ее изучения так называемых дописьменных эпох. Эти эпохи – основная сфера археологии. Она разрабатывает свои реконструкции посредством анализа чрезвычайно разнообразного материального производства человеческих коллективов и их взаимоотношений с окружающей природой. Археологию и доныне официально относят к разряду служебного придатка исторической дисциплины. При этом хронологический охват последней на фоне археологии парадоксально ничтожен: на долю истории приходится не более 0.2% (!) от общей хронологической протяженности существования человечества. Весьма выразительным предстает также контраст в богатстве методологического арсенала археологии, что проявилось особенно заметно в последние десятилетия. Различия наблюдаются и в основных целях исследования: история нацелена на реконструкцию динамики социального развития человечества; для археологии главное – определить важнейшие рубежи его технологического развития.

Ключевые слова: периоды развития человечества, естественнонаучные методы исследований, календарная хронология.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-06-00037 и 13-06-12021).

Официально принятая Международной комиссией по стратиграфии (International Commission on Stratigraphy) *хронологическо-стратиграфическая шкала* отводит в общем развитии Земли – протяженностью примерно в 4.5 млрд лет – предельно малый финальный отрезок в 2.588, или же, при округлении, 2.6 млн лет, называемый *четвертичным периодом*. Этот отрезок времени нередко именуют антропогеном, поскольку именно в его хронологических рамках зарождался, формировался и развивался биологический вид *Номо*. Период делится на два неравнозначных субпериода: длительный (более чем 2.5 млн лет) плейстоцен (он же ледниковый), а также чрезвычайно короткий голоцен, или же *постледниковый*, в котором мы обитаем и поныне. На голоцен отводят всего 11700 (~12) тыс. лет из общей хронологической протяженности четвертичного периода (рис. 1).

С позиции археологической науки плейстоцен связан с различными этапами развития человеческих общностей эпохи палеолита, или древнекаменного века, а постпалеолитические культуры целиком укладываются в период постледниковый. Все эти лапидарные напоминания размещены в начале статьи, чтобы сразу же обратить внимание на разительную неравнозначность и резкий контраст двух близкородственных наук (или же дисциплин) – истории и археологии, а ведь именно с ними связана основная функция изучения человека в общеисторическом

процессе его развития от появления древнейших популяций вплоть до современности.

С целью избежать путаницы в номенклатуре наименований при дальнейшем изложении мы будем различать в тексте всемирную историю (ВМИ) развития человека и его культур и выражать ее сокращенно и через заглавные буквы, а также две ее основные дисциплины: *археологию* и *собственно историю*.

Письменные источники и хронологическо-пространственный лимит истории

Для исторической дисциплины письменные источники служат основным и едва ли не единственным полигоном исследования. Материалы полигона жестко лимитируют как



ЧЕРНЫХ
Евгений Николаевич
член-корреспондент РАН,
профессор,
Институт археологии РАН

хронологические, так и пространственные рамки этой науки. Так, при согласии большинства специалистов, древнейшие в Старом Свете и, стало быть, на всей Земле письменные документы, обнаруженные преимущественно в Египте, а несколько позднее также и в Месопотамии, датируют около 3000 г. до н.э., то есть примерно 5 тыс. лет назад. Вместе с тем в пространственном отношении эти регионы чрезвычайно ограничены: доля их суммарного покрытия от обитаемых только в Старом Свете (то есть в Евразии и Африке) не достигает и 1%! К тому же сведения, которые удастся извлечь из клинописных или же иных источников, предельно скупы. Сменялись эпохи, и шаг за шагом ширились те ареалы, о которых можно было получить сведения из источников письменных. Однако лишь после условно-знакового и во многом символического 1500-го г. – стартового значения для *Эпохи Нового Времени*, то есть уже с *Эпохи Великих географических открытий*, а вернее, *Эпохи Европейской колонизации нашей Планеты* – письменные источники, правда, с весьма неоднозначной мерой информационной детализации охватили или хотя бы коснулись человеческих сообществ на всей суше Земли (рис. 2).

Даже эта кратко обрисованная грань сопоставлений дает нам возможность судить об одном из самых примечательных отличий между собственно историей и археологией. Для исторической дисциплины лимит отсутствия письменных источников фактически неодолим и без них она методически беспомощна. Археология подобных лимитов не признает и не имеет: ведь главный объект ее анализа – материальное производство человеческих коллективов и окружающая их природа. Люди оставляют материальные следы своего бытия и тесного взаимодействия с природой, начиная с древнейших периодов существования видов *Homo habilis* или *Homo ergaster*, повсюду и вплоть до нынеш-

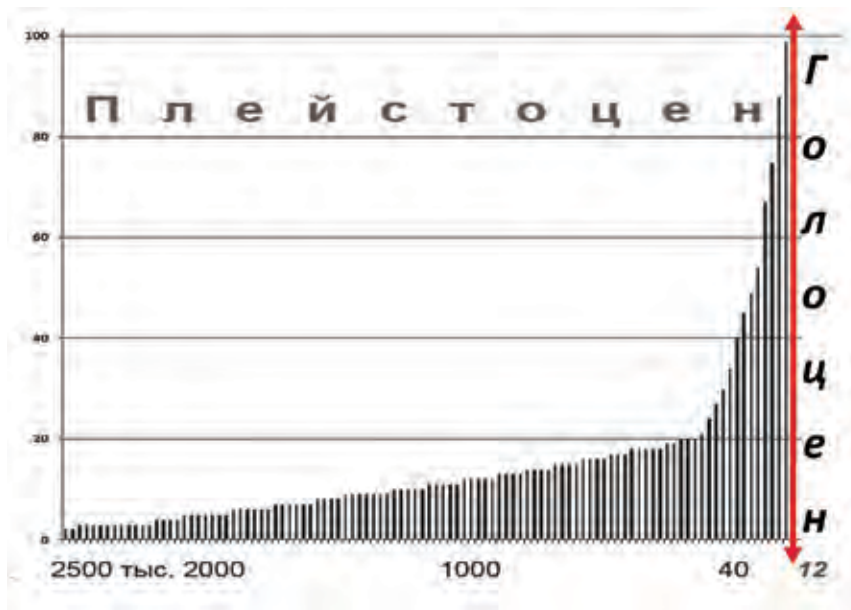


Рис. 1. Приближенная схема хронологико-пространственного соотношения периодов плейстоцена и голоцена (доля последнего обозначена красной линией со стрелками на концах).

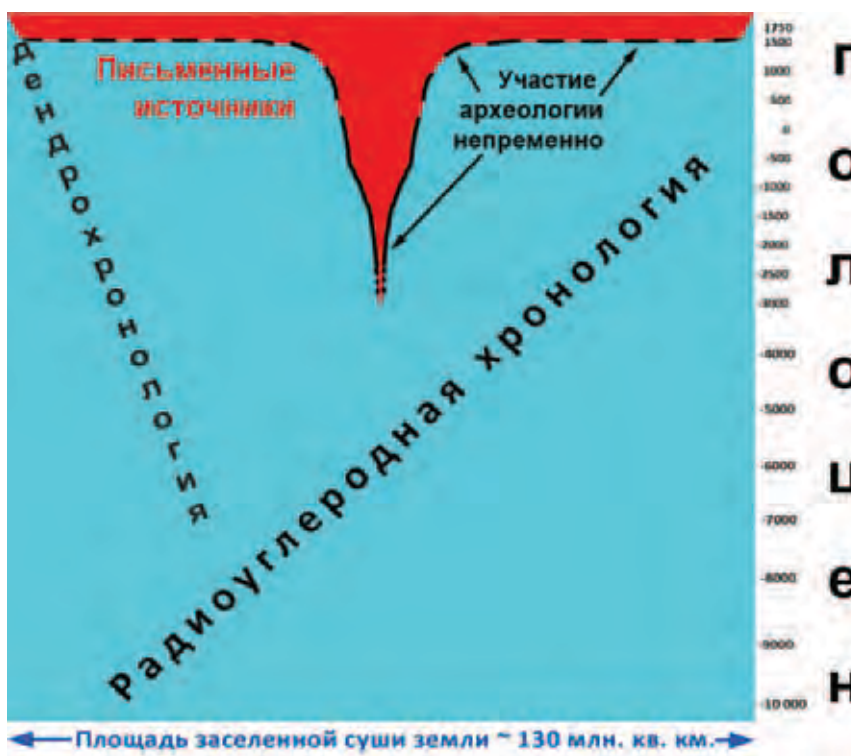


Рис. 2. Приблизительно выраженное хронологико-пространственное соотношение между письменными и дописьменными культурами в эпоху голоцена.

него дня. Из этого следует, что с позиции *пространственно-хронологического охвата* историческая дисциплина в состоянии составить представление о характере человеческих сообществ нашей планеты лишь для позднейшего из этапов их развития. При этом даже в 12-тысячелетнем голоцене ее потенциальный охват не в состоянии превысить 7–8% культур, населявших в тот краткий период всю обитаемую сушу Земли. Если же переместить эти пока-

затели из голоцена в общую в 2.6 млн лет картину антропогена, то доля прямых и максимальных возможностей исторической науки снижается до весьма маловероятных величин – не более 0.2%!

Следовательно, историческая дисциплина обеспечивает лишь финальное «покрытие» ВМИ, где подобного рода «покрытие» в реальности будет выглядеть тончайшей «пленкой». Все остальные уже дописьменные общества будут более чем на 99% принадлежать исключительно сфере методологических возможностей археологии.

О важнейших принципах периодизации Всемирной истории

Тему диссонанса между обеими дисциплинами мы продолжим, коснувшись кардинальных отличий в методологии науки тесно связанных с нею проблем периодизации исторического процесса. Вот, например, как представлялась еще совсем недавно в нашей стране важнейшая цель, а по сути, парадигма ВМИ на базе марксистско-ленинских догм: *«В основе единого и закономерного исторического процесса лежит последовательная смена общественно-экономических формаций: первобытно-общинной, рабовладельческой, феодальной, капиталистической, составляющих главные этапы поступательного движения человечества <...> к высшей, коммунистической формации, первой фазой которой является социализм. Из признания единства и закономерности всемирно-исторического процесса вытекают и принципы его научной периодизации»* [1]¹. Эти пять базовых формаций – их зачастую и не без юмора именовали «пятичленкой» – определяли конструкцию общей картины развития человечества.

При этом: *«События истории человечества, происходившие в глубине веков, восстанавливаются усилиями поколений ученых-историков. Значительное место здесь принадлежит археологии, изучающей материальные памятники древности»* [1]. В последней фразе достаточно явно обозначена прикладная роль археологии при ВМИ, хотя и признается, что в этих процессах ей удалось занять *«значительное место»*. В «пятичленке» на ее долю приходилась дешифровка начальной первобытно-общинной фазы, в то время как все остальные периоды принадлежали уже собственно истории.

И вот первый парадокс: при сопоставлении с конструкциями прежней «пятичленной» ВМИ получается, что в первобытно-общинном строе люди пребывали не менее 99.8% своей глобальной истории; и что уже все прочие с трудом различаемые рубежи отрезков времени бытия вида *Ното* приходится на иные четыре социально-экономические формации.

Однако из этой пропорции сразу же напрашивается вопрос: чем же можно объяснить столь странное соотношение между почти неподвижными в социальном отношении – в течение более 2.5 млн лет! – сообществами первобытно-общинного типа и столь стремительным, бурным социально-экономическим развитием за относительно недолгие сотни лет? Может быть, суть в сомнительной подоплеке базового вывода о *«единстве и закономерности всемирно-исторического процесса»*, откуда и *«вытекают и принципы его научной периодизации»*? Обратимся теперь к методологии археологической и принципам периодизации дописьменной эпохи.

От простого к сложному – важнейший принцип развития

В динамике взглядов на дописьменную историю человечества, нацеленных на выявление поступательного хода от *простого к сложному*, нетрудно уловить любопытную преюбилитированность. Так, от античной науки к европейским мыслителям времени *постренессанса* должен был свершиться впечатляющий «прыжок» через весьма долгий, едва ли не двухтысячелетний, «хиатус» с безоговорочным господством в нем канонов христианского понимания мира с его весьма краткой, почти не превышающей шести или семи тысяче-

¹ Мы остановились на одной из разновидностей в трактовке ВМИ, и российскому читателю она может оказаться намного ближе хотя бы потому, что беспредельно господствовала в нашей науке не менее 70 лет. Полнее всего она была представлена, к примеру, в десятитомном коллективном труде «Всемирная история», издававшемся в 1955–1965 гг. Иные трактовки и реконструкции ВМИ, предлагавшиеся учеными других стран отличались, конечно же, от марксистско-ленинской. Однако фактически всегда при подобном рода глобальных генеральных реконструкциях на первый план выходили проблемы развития и смены социальных структур. Вопросы экономики и особенно технологии в исторических повествованиях также присутствовали, но чаще всего служили там не слишком навязчивым фоном.

тий ВМИ: от зарождения человека вплоть до последнего дня. Именно в XIX в. в ученом мире Европы набирала силу теория эволюции «от простого к сложному» наиболее ярким представителем которой стал, безусловно, Чарльз Дарвин (1809–1882 гг.). Прямое и понятное воздействие его теория оказала, прежде всего, на палеоантропологию, на понимание основных этапов в развитии видов *Ното*. Однако импульсы этих взглядов весьма существенно отразились также на археологии, на методах относительной возрастной оценки рядовых археологических материалов.

Пожалуй, с фигурой шведского археолога Оскара Монтелиуса (1843–1921 гг.) можно связывать заметные трансформации взглядов европейских ученых на археологические древности и установление порядка их относительного возраста [4]. Ученый выстраивал морфолого-типологические ряды изделий, начиная с каменных, простейших по форме; за каменными следовали относительно простые по виду медные артефакты, ряды которых венчались наиболее усложненными по облику бронзовыми орудиями. Таким образом предлагался основной принцип определения относительного (релятивного) возраста намеченных исследователем типов изделий. В археологии метод Монтелиуса имел большой и очевидный успех.

Стратиграфия отложений и релятивная хронология

Однако несравненно более существенными для обогащения археологического арсенала исследовательских методов явились заимствования ряда кардинальных аксиом из арсенала геологической науки. Укажем, прежде всего, на относительную хронологическую позицию некоего комплекса артефактов в согласии с его стратиграфическим положением или залеганием в том или ином памятнике: «чем выше, тем

позднее, и чем ниже, тем древнее». Кажется, впервые наблюдения за стратиграфией стали основой для построения релятивной хронологической шкалы «отцом» итальянской геологии Джованни Ардуино (1714–1795 гг.). Во время своих наблюдений в окрестностях города Виченца (область Венето, Южные Альпы) в 1769 г. он пришел к заключению, что в последовательном залегании пластов геологических отложений можно различить четыре последовательные эпохи в сложении этого участка Альп: первичный, вторичный, третичный и, наконец, вулканический, он же четвертичный.

Для общеисторической картины планеты наиболее существенным оказалось, конечно же, определение стратиграфически позднейшего периода в истории Альп – *четвертого*, отчего и вся финальная эпоха развития нашей планеты получила титул «четвертичной», с которой и была связана упоминавшаяся выше эпоха антропогена. Во всяком случае, только после подобного рода принципиальных инноваций в методологии геологической науки стало возможным (хотя далеко не сразу) получить в руки археологии весьма надежный метод определения относительного возраста комплексов на базе их стратиграфического соотношения в культурных отложениях конкретного памятника. Вслед за геологией метод стратиграфического распределения слоев по их относительному возрасту получил в археологической методологии признание как один из наиболее важных и надежных приемов при обработке и трактовке культурных напластований.

Системы датировок в археологии

Для выработки более логичного и связного изложения нашего понимания методологических различий и взаимодействий между исторической и археологической науками мы забежим немного вперед и остановимся на краткой характеристике двух основных, базовых систем датировок в дописьменной истории человечества: а) относительной, или релятивной; б) абсолютной, или календарной.

Относительная система в своем выражении может быть достаточно простой: к примеру, *культура А древнее культуры В* или *каменный век раньше века бронзы*. В этом варианте отсутствует указание на число лет, отличающих сопоставляемые объекты. Другой вариант релятивной хронологии предусматривает обозначение различий с указанием числа лет, пусть даже приближенное: *дом А старше дома В (примерно) на триста лет*. Этой системы мы и касались по преимуществу в предшествующих разделах статьи при сопоставлении периодов.

Абсолютная система предусматривает обязательный временной ориентир с указанием на определенную хронологическую шкалу и положение того или иного события на такой шкале. Здесь также возможны два варианта. В первом из них может следовать указание на некую, пусть даже не значимую ныне, хронологическую шкалу ушедших в прошлое отсчетов времени типа календарей римского или древних майя. Второй вариант абсолютной системы обычно именуется уже «календарным». Он ориентирован на современный и принятый подавляющим большинством сообществ григорианский календарь, когда указывается конкретная датировка/датировки того или иного события или объекта. Этой системы мы коснемся далее, но вначале обратим внимание на соотношение между обеими системами в археологической науке.

«Провал» между релятивными и абсолютными датировками

Методы относительной хронологии, пожалуй, могли лишь обострить впечатление об отсутствии у археологии реальных возможностей формирования уже не относительных, но календарных хронологических шкал. Вот, к примеру, скорбные мысли по этому поводу у видного антиквара Расмуса Ньирупа (1759–1829 гг.), трудившегося в центральной библиотеке Дании: «Все, что пришло к нам из прошлого, окутано непроницаемым туманом, и его точное время установить невозможно. Мы знаем, что оно раньше эры христианства, но на сколько лет или веков, а может быть, даже более тысячелетия – об этом мы в состоянии лишь гадать» [5]. И в этом случае археология уже целиком зависела от хронологических построений в исторической дисциплине: ведь те разработанные и принятые в ней шкалы могли бы явиться своеобразной «печкой», отталкиваясь от которой, становилось вероятным пусть хотя бы отчасти прояснить истинное положение на временной шкале некоторых базовых археологических комплексов.

Каждая культура или блок родственных культур начинает отсчет лет с события, почитаемого для нее наиважнейшим. Сторонние наблюдатели очень часто указывают на мифологический характер такого события, однако подвергать сомнению высшую реальность самого факта для конкретной культуры всегда считается в ней кощунством. Так, христианский мир ведет отсчет от предполагаемого времени Рождества Христова, то есть 2016 лет назад (со времени написания настоящей статьи). Для исламских сообществ главнейшим событием было бегство пророка Мухаммеда из Мекки в Медину, после чего и началось победное шествие ислама по миру: 15 июня 622 г., отсюда сегодня – 1437-й г. хиджры. Для

правоверных иудеев это сотворение Господом нашего мира, которое, по их поверьям, имело место 6 октября 3761 г. до н.э. или 5777 лет назад. Однако согласно православной христианской версии это событие произошло существенно раньше – 7524 года назад, или в 5508 г. до н.э. Древние римляне кардинальным мировым событием почитали, естественно, основание своего Вечного города, и от него (в большинстве случаев это 753 г. до н.э.) они в своих хрониках и отмеряли все годы. Иначе строили свою календарную хронологию в Китае на восточной и столь отличной от западной половине Евразии: временные рубежи там соответствовали основным правящим династиям, начиная от легендарного государства Ся, или от еще более мифического периода «трех властителей и пяти императоров», совпадающего с III тыс. до н.э.

Чтобы сопоставить между собой множество хронологических шкал, потребовалось немало времени и усилий многих специалистов: попытки синхронизации различных систем предпринимались еще в I тыс. до н.э. Все эти причудливо переплетающиеся между собой шкалы пестрят невосполнимыми пробелами. «Расплетают» их с громадными усилиями, да и после этого они могут быть нередко насыщены трудно контролируемыми ошибками. Знаковой фигурой в распутывании этого сложнейшего «пазла», вне всякого сомнения, являлся Жозеф Жюст Скалигер (1540–1609 гг.). Этот французский исследователь, гугеннот/кальвинист, разработал выдержавшую испытание временем сопряженность календаря древнеримского, введенного в 45 г. до н.э. Гаем Юлием Цезарем, с названным в честь этого великого римского консула юлианским европейским календарем. Параллельно велось совмещение уже с календарем григорианским (*De emendatione temporum Iosephi Scaligeri* (1583 г.) *Iulii Caesaris f. opus novum absolutum perfectum octo libris*

distinctum. Cum privilegio CAESAREAE MAJEST. Francofurti, Apud Ioannem Wechelum, Sumtibus Nicolai Bassaei Typographi. MDXCII (новое, полностью исправленное сочинение Иосифа Скалигера, сына Юлия Цезаря, разделенное на восемь книг, в которых кроме точного представления гражданских дней, месяцев, веков и эпох, аккуратного руководства по методам древней хронологии, а также новых видов года, предложено точно выверенное и взвешенное исправление самих древних. С посвящением Великому Цезарю. Франкфурт, Иоанн Вецелум, типография Николая Бассае, 1593 г.), ведь Скалигер «расплетал» эту нелегкую сеть, когда папа Григорий XIII своей буллой «*Inter Gravissimas*» вводил в 1582 г. во всех католических странах новый отсчет времени.

Стартовые сигналы революционных сдвигов в системах датировок

После исследований Скалигера прошло достаточно много времени, но историческая хронология и в позапрошлом веке по-прежнему не могла преодолеть свой вечный барьер полного отсутствия в мире тех письменных источников, которые помогли бы перекинуть надежный мостик к безбрежному «миллионолетнему» океану археологических древностей. И наконец, две знаковые фигуры – Эндрю Элликот Дуглас и особенно Уиллард Франк Либби – сыграли важнейшую роль в наметившихся в первой половине прошлого столетия поистине революционных сдвигах при разработке хронологии дописьменной истории человечества.

Э. Дуглас (1867–1962 гг.) – американский астроном, во время своих исследований еще в конце позапрошлого столетия в Обсерватории Лоуэлла [6] подметил определенную зависимость толщин последовательных годичных колец деревьев от циклов солнечной активности (рис. 3–5). Однако лишь в 1919 г. удалось получить первый

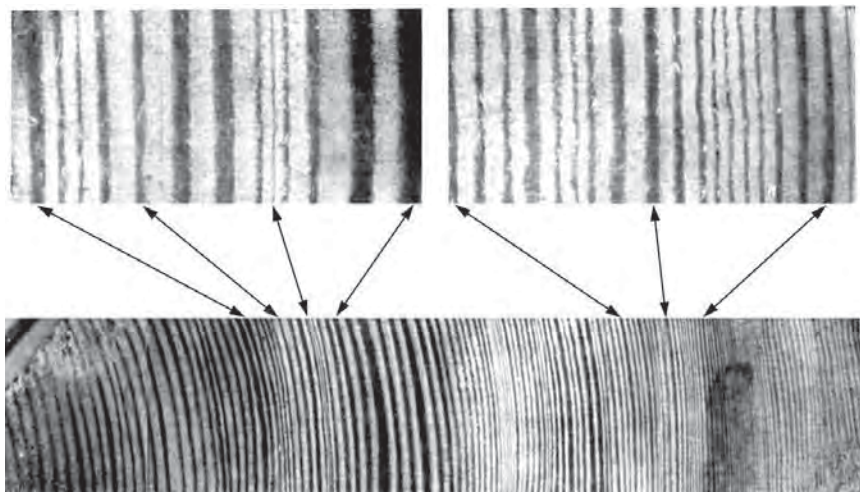


Рис. 3. Годичные кольца на спице ствола из древнего сооружения. Вверху показаны увеличенные изображения двух участков спицы (помечены крайними стрелками).



Рис. 4. Эндрю Элликот Дуглас (Andrew Ellicott Douglass, 1867–1962 гг.) (слева) на фоне демонстрационного дендросреза ствола гигантской секвойи. Возраст этой породы деревьев может достигать 3000 лет.

результат, когда Дуглас сообщил о датировках ряда изученных им образцов из памятников бывшего государства ацтеков. Установленные им даты образцов носили тогда относительный характер, но по описанному нами выше так называемому второму варианту, когда ученый смог установить лишь разницу в годах между образцами без привязки к современной календарной шкале. Сравнения проводились с руинами Теночтитлана и с годом гибели Монтесумы, в сущности, последнего правителя «империи». Это трагическое



THE STUMP AND TRUNK OF THE MAMMOTH TREE OF CALAVERAS.
Showing a Crillion Party of Thirty-two Persons Dancing on the Stump at one time



Рис. 5. Деревья гигантской секвойи (*Sequoia gigantea*) стали в США в XIX в. объектом специфических выставок. Каждый из стволов получал только ему присущее имя; в частности, на верхней части рисунка изображены ствол и пень секвойи «Мамонт».

время для индейских социумов Центральной Америки определяется близким к 1519–1521 гг., то есть к моменту реального завоевания ацтеков испанцем Э. Кортесом. И при этом точные даты гибели государства ацтеков и их монументальных архитектурных святынь давали определенную надежду на связь изученных Дугласом дендробразцов из центральноамериканских памятников с современной календарной шкалой [7]. Такими представляются ныне первые шаги нового и крайне важного для археологии направления – дендрохронологии (рис. 4–6).

У. Либби (1908–1980 гг.) – американский физикохимик, проводивший свои важнейшие исследования в университете Чикаго. С его фигурой обычно и вполне справедливо связывают начало процессов радиоуглеродного датирования в археологии. В 1947 г. он

на базе изучения радиоактивного изотопа углерода ^{14}C провел опыты датировки образцов с установленным по историческим (письменным) источникам возрастом. В 1949 г. в журнале *Science* появилась статья У. Либби и его коллеги Дж. Арнольда [8] о первых опытах с характерным названием «Определение возраста по содержанию радиоуглерода: проверка по образцам с известными датами». Среди проанализированных образцов, связанных с датировками древнеегипетских материалов времени от фараонов Джосера и Сесотриса вплоть до Птолемея, имелись также образцы ряда последовательных колец от стволов многовековых деревьев, в частности от поваленной в 1874 г. секвойи *Sequoia gigantea* (рис. 5). Последнее явилось очень важным в проведенной процедуре датировок, поскольку совмещало в ней точные дендродатировки с определением возраста по содержанию ^{14}C . В среде химиков и физиков успех изысканий У. Либби и его коллег был полным, и уже в 1960 г. ему была присуждена Нобелевская премия. Вместе с тем дендрохронологические шкалы явились основанием для корректировки периода полураспада изотопа ^{14}C , и это стало практически обязательным при калибровке датировок каждого из анализируемых образцов. Так, первоначально принятый период полураспада ^{14}C в 5568 ± 30 лет (по Либби) после согласия в шкале калибровок был изменен на 5730 ± 40 лет.

Кардинальные перемены в археологической парадигме

Вторая половина прошлого и начало нынешнего столетий – это время бурного, буквально взрывного насыщения арсенала археологии методами естественных наук. Однако если хотя бы кратко продолжить тему о системах датирования, следует указать на стремительную трансформацию и формирование собственной, археологической, уже фактически независимой от исторической хро-

нологии, календарной шкалы на базе анализа археологических материалов. Отразилось это, прежде всего, на радиоуглеродной хронологии, когда на пробных, единичных опытах датировок стремительно вырастали крупные серии абсолютно датированных и системно обработанных археологических образцов. Происходило это за счет организации во многих странах широкой сети изотопных химико-физических лабораторий [9]. Коснулось это также и дендрохронологии, хотя этот метод на фоне радиоуглеродного обеспечивал формирование, прежде всего, локальных, хотя и достаточно широких в пространственном и временном отношении шкал.

Оба метода применимы в основном к древностям эпохи голоцена, хотя определения возраста по изотопу ^{14}C могут ныне касаться также и позднепалеолитических материалов вплоть до 50-тысячелетней древности. Для более ранних материалов эпохи плейстоцена применяются теперь калий-аргоновый, уран-гелиевый методы, которые позволяют оценивать возраст связанных с ними ранних палеолитических материалов. Зачастую на помощь хронологическим определениям эпохи плейстоцена приходят данные палеомагнетизма, ориентированные на изменения во времени магнитного поля Земли, а также палеоклиматологии, во многом опирающиеся на теорию М. Миланковича, объясняющую характер и ритм инсоляционных циклов ледниковой поры [10].

В 30–60-е гг. XIX в. наибольшая активность была связана с исследованиями по историко-металлургической проблематике. И это имело свое давнее основание: прежде всего ведь именно на металле и металлургической технологии в основном и базировалась археологическая периодизация эпохи голоцена в постпалеолитическое время. В тематике доминировали эффективные методы количественного спектрального анализа установления химического состава древнего металла (в основном

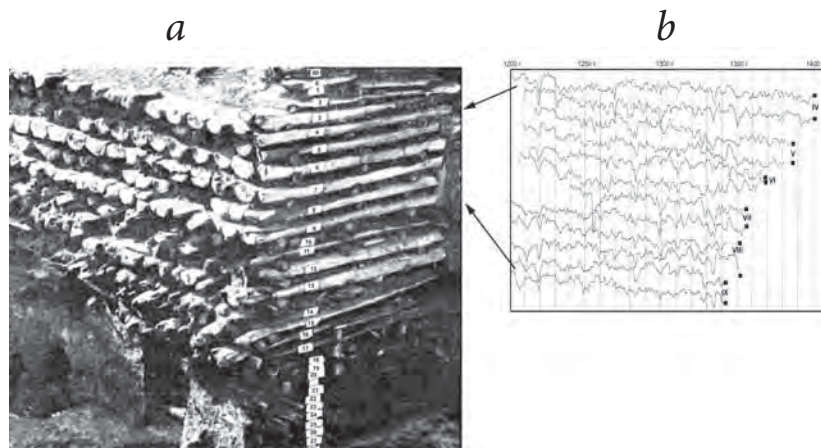


Рис. 6. Средневековые деревянные мостовые улицы Великой в Новгороде (а) могут быть представлены до 30–32 перекрывающимися ярусами; при этом каждый верхний ярус, перекрывающий нижний ярус, должен датироваться более поздним временем. Графики ширины дендроколец образцов бревен (б) показывают точное хронологическое соотношение с IV по IX яруса.

меди и бронзы), а также металлографии для реконструкции способов металлообработки. В последнее время на смену спектральному анализу пришел рентгенофлуоресцентный метод, позволяющий гораздо бережнее относиться к форме и облику древних и особенно уникальных металлических изделий.

Первые широкие опыты по применению спектрального анализа к археологическим древностям уже в начале 30-х гг. предприняли германские ученые. Почти всегда основной целью подобного рода химико-металлургических изысканий объявлялась возможность установления связи изученного металла с исходными рудными источниками. К этому и стремились тогда исследователи, имея в виду медные и полиметаллические месторождения Германии, впрочем, без особого успеха. Позднее сходные по методам и целям исследования были продолжены также германскими учеными уже после Второй Мировой войны, и в 1960 г. в Берлине вышла в свет книга так называемой Штутгарской группы исследователей [11]. В СССР в 50-е гг., первоначально в Ленинградском отделении Института истории материальной культуры, а с 1960 г. уже в Московском отделении Института истории материальной культуры наметилась активная работа по спектральному анализу древнейшего металла с территории СССР. Первой крупной работой в этом направлении явилась книга «Древнейшая металлургия Восточной Европы» [12], в которой было опубликовано до двух тысяч системно обработанных количественных спектральных анализов с пространств Восточной Европы и Кавказа. В рамках московской группы исследований особое внимание уделялось обоснованию специфической методики и приемов статистической обработки полученных аналитических данных с обязательной опорой на морфологические характеристики металла различных археологических культур и общностей.

Особое внимание с начала 70-х гг. прошлого века



Рис. 7. Металлургические провинции II в. до н.э. (схематическая карта): 1 – Европейская, 2 – Западно-Азиатская, 3 – Восточно-Азиатская, 4 – Кавказская, 5 – Ирано-Анатолийская, 6 – Древнекитайская, 7 – Индокитайская, 8 – Восточно-Средиземноморская. Знаками вопроса помечены территории с неопределенным отношением к той или иной провинции.

в разных странах было обращено на изыскания в области древнего горного дела, связанного по преимуществу с добычей медных или полиметаллических руд. Весьма примечательные успехи ожидали ученых при открытии и обследовании датированных V–I вв. до н.э. рудников на Балканах или Южном Урале. Позднее были открыты также и золотые рудники на Южном Кавказе. Сопоставления аналитических результатов древней меди с химическими характеристиками медных руд позволило прояснить пути распространения металла порой на многие тысячи километров, например от богатых горнорудных регионов выплавки меди вплоть до распространения ее у населения безрудных ареалов, подобных Восточной Европе или Западной Сибири [13].

Об истинных революционных сдвигах в повседневной практике археологических изысканий можно было говорить не только после формирования крупных химико-металлургических или же радиоуглеродных серий анализов, но (и это приобретало особую важность) тесно взаимосвязанных с конкретикой археологических реалий, то есть с археологическими культурами, общностями и их блоками. Подобный вариант исследовательских процессов можно определять как *эффект культурного ландшафта*, поскольку практически никогда археологическая культура или же родственные блоки культур не существовали и не развивались вне определенной *геоэкологической зоны*, подобной, к примеру, гигантскому Степному Поясу Евразии. Данный вариант сопряженности можно было расширить до понятия так называемого культурно-технологического ланд-

шафта. Тогда многочисленные серии радиоуглеродных датировок или же химико-металлургические группы сопрягались уже с более сложными и огромными системами (рис. 7) типа *металлургических провинций* [13], охватывавших по несколько миллионов квадратных километров и функционировавших каждая до тысячи и более лет.

В тесном контакте с исследованиями абсолютной хронологии, а также культурного ландшафта и геоэкологических зон в практике археологических групп развивались биологические направления: палинология (анализ ископаемой пыльцы растений), археоботаника и археозоология, успехи которых оказались выражены во множестве публикаций, а также материалов различных конференций и симпозиумов [14, 15]. Вырабатывались методические приемы реконструкции экономики так называемого *производящего типа* (земледелие плюс скотоводство) или *комплексной производящей экономики*, когда к земледелию и скотоводству подключалось горно-металлургическое производство. Именно с этими этапами был связан принципиально выраженный социально-экономический прогресс в сообществах голоцена последних 12 тыс. лет.

С началом XXI столетия для археологии особое значение приобрели изыскания в области палеоантропологии вкупе с генетикой древних популяций на базе материалов древних некрополей и отдельных находок костных остатков человека не только голоцена, но даже ранних фаз плейстоцена. Результаты этих принципиально новых исследований явились, к примеру, базой для ряда чрезвычайно значимых выводов о путях миграций и распространения древних популяций, даже со времени раннего палеолита, около 1.5–2 млн лет назад, из африканской колыбели человечества и заселения всех гигантских ареалов Евразийского континента [16].

Краткое заключение о хронологическом-

тодологическом диссонансе двух наук

Так, в почти тезисном изложении предстает методологическое развитие археологии; причем особое внимание мы должны сконцентрировать на взрывном характере этих перемен в последние пять-шесть десятилетий. Добавим к тому же, что эти процессы сопровождались фактически обязательными разработками специальных компьютерных программ, без которых эффект этих исследований был бы, по существу, почти нереальным. Бесспорным следствием этих процессов следует считать еще большее методологическое отчуждение родственных дисциплин – археологической и исторической. При этом шаг за шагом этот феноменальный диссонанс приобретал все более броский характер. Ведь древнейшие стадии письменной (или же «исторической») эпохи в те самые последние пять-шесть десятилетий фактически не обогащаются сколько-нибудь заметными открытиями новых документов, способными хоть как-то ощутимо изменить наши устоявшиеся представления, например о социальных организмах планеты, датированных в хронологических рамках последних двух тысячелетий, т.е. хотя бы периода «до новой эры». Практически все они описаны, прокомментированы, неоднократно истолкованы в неисчислимом множестве публикаций. С другой стороны, все накопления невообразимой массы письменной документации нынешнего времени для исторической дисциплины связаны уже с позднейшими этапами человеческой истории, отчего она приобретает все более определенный облик и характер *политологии*.

Весьма любопытно также, что параллельно усилению диссонанса археология стремительно и с повышенной энергией вторгается в традиционно считавшейся сферу исторической дисциплины. Она активно сближается с последней, извлекая из вновь полученных материалов от-

веты на те вопросы, которые оказываются не под силу исторической дисциплине. В настоящее время без археологических методов и аналитической практики почти нереально понимать и корректно расшифровывать характер едва ли не всего раннего и в особенности восточноевропейского Средневековья. Возможны ли будут, к примеру, те построения и суждения о гигантском Скифском мире лишь на базе повествований «Мельпомены» у Геродота? Ведь те повествования великого древнегреческого историка и до сих пор воспринимаются многими едва ли не до наших дней в качестве исчерпывающих, и это без всего проделанного в последние годы сложного комплекса археологических исследований на неохватных просторах от Дуная до Ордоса и почти до границ Маньчжурии. Не покажутся ли предельно минимальными и сжатыми наши знания о культурах III в. до н.э. Эпохи Раннего Металла на Ближнем Востоке и в Анатолии лишь на основании прежних, скупых и многократно перетолкованных в литературе письменных источников? Разумеется, перечислять многочисленные факты подобных археологических «вторжений» в подвластные исторической науке области возможно и далее, но особого смысла в этом нет – они напрашиваются как бы сами собой и без особого приглашения.

И наконец, все более и более курьезным может звучать продолжение устоявшегося в предшествующие десятилетия мнения о прикладном характере археологии в изучении общеисторического развития человечества. Остановим внимание лишь на одном, но, пожалуй, чрезвычайно ярком свидетельстве «придатка» – на той доле, которую Генеральная редакция уже упоминавшейся десятитомной «Всемирной истории» отводила археологическим культурам и периодам. Суммарное число страниц в этом громадном труде приближается к десяти тысячам. Из них лишь 72 (!) страницы оказались посвящены палеолиту и около 150 – всем дописьменным культурам (все эти разделы сосредоточены в томе I). Указанные цифры приобретают особое звучание в сопоставлении с другими, помещенными также в начале статьи расчетами пропорций между всей в 2.6 млн лет всемирной истории и перекрывавшей неисчислимы массы дописьменных культур «тончайшей пленкой» культур письменных, подвластных уже собственно исторической дисциплине... Одно лишь ясно: феномен *хронологического методологического диссонанса* между этими науками претерпел в последние годы перемены чрезвычайные, что делает продолжение дискуссий по данной острой проблеме весьма необходимым.

Литература

1. *Всемирная история в 10 томах, т. 1*, под общ. ред. Е.М. Жукова, под ред. Ю.П. Францева, Москва, Госполитиздат, 1955, 746 с.
2. *Dansk biografisk Lexikon, tillige omfattende Norge for Tidsrummet 1537-1814*. udgivet af C.F. Bricka, Kjøbenhavn, Gyldendalske Boghandels Forlag (F. Hegel & Søn), Græbes Bogtrykkeri 1887–1905. (Projekt Runebergs digitale faksimileudgave af Dansk biografisk Lexikon, første udgave, <http://runeberg.org/dbl>).
3. **M. Berthelot**
Introduction à l'Etude de la Chimie des Anciens et du Moyen Age, Paris, G. Steinheil, 1889, 358 pp. (http://herve.delboy.perso.sfr.fr/chimie_anciens.html).
4. **O. Montelius**
Die Chronologie Der Ältesten Bronzezeit In Nord-Deutschland Und Skandinavien, Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 1900, 239 S.
5. **Nyerups Rasmus**
Kjøbenhavns Beskrivelse, Kjøbenhavns, 1800.
6. **S.E. Nash**
Time, trees, and prehistory: Tree-ring dating and the development of North American archaeology, 1914–1950, USA, UT, Salt Lake City, University of Utah Press, 1999, 294 pp.
7. **A.E. Douglass**
National Geographic Magazine, 1929, 56(6), 736.
8. **J.R. Arnold, W.F. Libby**
Science, 1949, 110(2869), 678. DOI: 10.1126/science.110.2869.678.
9. *Radiocarbon*, 2013, 55(4), 2073.
10. **Г.А. Вагнер**
Научные методы датирования в геологии, археологии и истории, пер. с англ., Москва, Техносфера, 2006, 576 с.
11. **S. Junghans, E. Sangmeister, M. Schröder**
Metallanalysen kupferzeitlicher und Frühbronzezeitlicher Bodenfund aus Europa, Studien zu den Anfängen der Metallurgie, Berlin, Verlag Gebr. Mann, 1960, 217 S.
12. **Е.Н. Черных**
История древнейшей металлургии Восточной Европы, Москва, Наука, 1966, 144 с.
13. **Е.Н. Черных**
Культуры кочевников в мегаструктуре Евразийского мира, т. 1, Москва, Изд. Языки славянской культуры, 2013, 368 с.
14. *Сб. Мегаструктура евразийского мира: Основные этапы формирования*, Материалы Всероссийской научной конференции (Москва, 4–6 декабря, 2012), Москва, Таус, 2012, 136 с.
15. *Сб. Естественнонаучные методы исследований и парадигма современной археологии: Материалы Всероссийской научной конференции (Москва, 8–11 декабря, 2015)*, под ред. М.В. Добровольской, Е.Н. Черных, Москва, Изд. Языки славянской культуры, 2015, 159 с.
16. **А.П. Деревянко**
Три глобальные миграции человека в Евразии. Т. 1: Происхождение человека и заселение им Юго-Западной, Южной, Восточной, Юго-Восточной Азии и Кавказа, Новосибирск, Изд. Института археологии и этнографии СО РАН, 2015, 612 с.

English

Archaeology and History: Chronological and Methodological Dissonance of Sciences (Natural Sciences Methods in Archaeology) *

Evgenij N. Chernykh –
RAS Corresponding Member, Professor,
Institute of Archaeology, RAS
19, Dm. Ulyanov Str., Moscow, 117036, Russia
e-mail: evgenij.chernykh@gmail.com

Abstract

Global history of humankind is around 2.6 million years, coinciding with the Quaternary geological period. Historical research predominantly falls within the purview of two scientific disciplines – the history itself and the archaeology. For the discipline of history the most important and, in fact, the only research base is analysis of written documents, and this is a hard barrier for historical studies of so-called preliterate eras. These eras are the main field of archaeology. It develops its reconstruction through the analysis of extremely diverse material production of human community and man's relationship with the environment. Archaeology is so far regarded as an auxiliary appendage of the historical discipline. This chronological coverage of historical science against the background of archaeology is paradoxically insignificant. The share of history is not more than 0.2% (!) of the total chronological length of humankind existence. The contrast in a diversity of methodological arsenal of archaeology and history is also very expressive; this became particularly prominent in the last few decades. The dissimilarities are also observed in the main objectives of research: the history focuses on the reconstruction of the dynamics of human social development, whereas for archaeology an identification of the most important milestones of mankind technological development is the priority task.

Keywords: human development periods, nature sciences research methods, calendar chronology.

*

The work was financially supported by RFBR (projects 16-06-00037 and 13-06-12021).

References

1. *The World History in 10 Vols, Vol. 1*, Gen. Ed. E.M. Zhukov, Ed. Yu.P. Frantsev, Moscow, Gospolitizdat Publ., 1955, 746 pp.
2. *Dansk biografisk Lexikon, tillige omfattende Norge for Tidsrummet 1537-1814*. udgivet af C.F. Bricka, Kjøbenhavn, Gyldendalske Boghandels Forlag (F. Hegel & Søn), Græbes Bogtrykkeri 1887-1905. (Projekt Runebergs digitale faksimileudgave af Dansk biografisk Lexikon, første udgave, <http://runeberg.org/dbl>).
3. **M. Berthelot**
Introduction à l'Etude de la Chimie des Anciens et du Moyen Age, Paris, G. Steinheil, 1889, 358 pp. (http://herve.delboy.perso.sfr.fr/chimie_anciens.html).
4. **O. Montelius**
Die Chronologie Der Ältesten Bronzezeit In Nord-Deutschland Und Skandinavien, Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 1900, 239 S.
5. **Nyerups Rasmus**
Kjøbenhavns Beskrivelse, Kjøbenhavns, 1800.
6. **S.E. Nash**
Time, trees, and prehistory: Tree-ring dating and the development of North American archaeology, 1914-1950, USA, UT, Salt Lake City, University of Utah Press, 1999, 294 pp.
7. **A.E. Douglass**
National Geographic Magazine, 1929, 56(6), 736.
8. **J.R. Arnold, W.F. Libby**
Science, 1949, 110(2869), 678. DOI: 10.1126/science.110.2869.678.
9. *Radiocarbon*, 2013, 55(4), 2073.
10. **G.A. Wagner**
Age Determination of Young Rocks and Artifacts: Physical and Chemical Clocks in Quaternary Geology and Archaeology, Heidelberg, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998, 466 pp. DOI: 10.1007/978-3-662-03676-1.
11. **S. Junghans, E. Sangmeister, M. Schröder**
Metallanalysen kupferzeitlicher und Frühbronzezeitlicher Bodenfunde aus Europa, Studien zu den Anfängen der Metallurgie, Berlin, Verlag Gebr. Mann, 1960, 217 S.
12. **E.N. Chernykh**
History of Ancient Metallurgy in Eastern Europe [Istoriya drevneyshy metallurgii v Vostochnoy Evrope], Moscow, Nauka Publ., 1966, 144 pp. (in Russian).
13. **E.N. Chernykh**
Culture of Nomads in the Megastructure of Eurasian World, Vol. 1, Moscow, Yazyki slavyanskoy kultury Publ., 2013, 368 pp. (in Russian).
14. *Proc. All-Russian Sci. Conf. "Eurasian World Megastructure: the Main Stages of Formation" [Megastruktura Evraziyskigi mira: Osnovnye etapy formirovaniya]*, (Moscow, 4-6 December, 2012), Moscow, Taus Publ., 2012, 136 pp. (in Russian).
15. *Proc. All-Russian Sci. Conf. "Natural science research methods and paradigm of modern archaeology" [Estesvennonauchnye metody issledovaniy i paradigm sovremennoy arkhologii]*, (Moscow, 8-11 December, 2015), Eds M.V. Dobrovolskaya, E.N. Chernykh, Moscow, Yazyki slavyanskoy kultury Publ., 2015, 159 pp. (in Russian).
16. **A.P. Derevyanko**
Three Global Human Migrations in Eurasia. Vol. 1: Human Origin and Early Peopling of Southwestern, Southern, Eastern and South-eastern Asia and the Caucasus, Novosibirsk, Publ. Institute of Archaeology and Ethnography, Siberia Branch of RAS, 2015, 612 pp. (in Russian).

Междисциплинарные исследования в археологии Северной Азии *

А.П. Деревянко, В.И. Молодин, М.В. Шуньков

В статье представлены основные результаты комплексных исследований уникальных археологических памятников Сибири и сопредельных территорий с использованием методов разных естественнонаучных дисциплин. На основе широкой интеграции данных археологии, палеонтологии, антропологии, палеогенетики, геофизики и других наук получены новые знания о древних культурных процессах, палеоландшафтах и палеоклиматах, палеоэкологии и этнических связях населения Северной Азии в широком хронологическом диапазоне от нижнего палеолита до раннего железного века.

Ключевые слова: археология, палеогеография, плейстоцен, палеогенетика, палеоантропология, палеонтология, палеобиология, дендрохронология, геофизический мониторинг.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 13-06-12002, 13-06-12022 и 13-06-12026)

Введение

Комплексный подход в изучении археологических объектов является одним из наиболее актуальных направлений современных исследований в области древнейшей и древней истории. Только на уровне интеграции данных археологии и различных естественнонаучных дисциплин возможно выяснение основных закономерностей взаимодействия природы и общества в древности, изучение влияния изменений природных условий на процессы древних миграций, определение соотношения экологических и социальных факторов в освоении человеком новых территорий.

Основные работы по междисциплинарному изучению археологических объектов на территории Северной Азии проводит Институт археологии и этнографии (ИАЭТ) СО РАН. На базе ИАЭТ СО РАН работает первый в стране Центр коллективного пользования (ЦКП) «Геохронология кайнозоя», созданный при участии Института ядерной физики и Института геологии и минералогии СО РАН. Центр объединил усилия представителей естественных и точных наук в проведении междисциплинарных исследований в области хроностратиграфии, палеогеографии, палеоэкологии, палеоклиматологии и в других смежных с археологией научных дисциплинах. На уникальном научном оборудовании ЦКП ведутся фундаментальные и прикладные исследования по составлению геологических летописей, датированию археологических комплексов и культур.

В центре запущена единственная в России установка для прямого масс-спектрометрического радиоуглеродного датирования (AMS) по микрообразцам (1 мг) из археологических, геологических и биологических объектов. Кроме прямого датирования аналитическое оборудование используется в совместных комплексных исследованиях динамики изменения климата, океанических циркуляций, диеты древнего человека и других междисциплинарных проектов. В деятельности Центра принимают участие и пользуются его услугами 16 институтов СО РАН и пять университетов.

Необходимый базис для разработки фундаментальных научных проблем обеспечивается крупномасштабными экспедиционными исследованиями, проводимыми сотрудниками ИАЭТ СО РАН в различных регионах Евразии от юго-востока Балкан до юго-востока Азии. На этой гигантской территории сделаны десятки научных открытий в широком хронологическом диапазоне от нижнего палеолита до средневековья, которые относятся к выдающимся достижениям рос-



ДЕРЕВЯНКО
Анатолий Пантелеевич
академик, профессор,
Институт археологии
и этнографии, СО РАН



МОЛОДИН
Вячеслав Иванович
академик, профессор,
Институт археологии
и этнографии, СО РАН



ШУНЬКОВ
Михаил Васильевич
профессор,
директор Института археологии
и этнографии СО РАН

сийской и мировой археологии. Они во многом изменили традиционные представления о времени и путях первоначального заселения человеком Северной, Центральной и Восточной Азии, позволили по-новому взглянуть на развитие культурных и этногенетических процессов в эпохи палеометалла и первых классовых образований на территории Сибири и Дальнего Востока.

Наиболее интересные результаты получены при изучении многослойных палеолитических комплексов Российского Алтая. В отложениях пещер Денисовой, Чагырской, Страшной, стоянок Карамы, Усть-Каракол и других археологических объектов, расположенных в северо-западной части Алтая, вместе с многочисленными артефактами выявлены массовые палеонтологические материалы, позволяющие проследить развитие палеолитической культуры и реконструировать условия обитания человека на различных палеогеографических этапах плейстоцена. Комплексные исследования включают изучение истории развития рельефа, современной растительности и животного мира, реконструкции истории флоры и фауны, изменения палеогеографических условий и палеоклиматов. На этих памятниках выполнен литологофациальный анализ плейстоценовых отложений, получены данные по составу спор и пыльцы растений, проведено определение ископаемых моллюсков, костных остатков птиц, мелких и крупных млекопитающих.

Неполнота геологической летописи плейстоцена на большей части Северной Евразии обуславливает необходимость выявления особенностей пространственно-временных закономерностей развития флоры, растительности и климата для решения вопросов детального расчленения новейших отложений, периодизации и корреляции климатообусловленных палеогеографических событий, определения гео-

логического возраста палеолитических объектов и воссоздания истории развития природных условий как среды обитания первобытного человека.

Палеогеографические реконструкции развития природной среды в нижнем неоплейстоцене

Одним из примеров изучения закономерностей изменения палеораствительности и палеоклимата являются материалы по климатостратиграфии и флорофитоценологическим реконструкциям развития природной среды Северо-Западного Алтая в эпоху нижнего плейстоцена. Эти материалы имеют большое значение не только для установления закономерностей изменения растительности и климата Алтайских гор, но и всей территории юга Северной Азии.

Осадки нижнего неоплейстоцена в северо-западной части Алтая наиболее полно изучены в разрезе раннепалеолитической стоянки Карамы, представляющей древнейший этап проникновения палеолитического человека на территорию Северной Азии. Раскоп Карамы вскрыл толщу осадков общей мощностью около 12 м, которая, судя по характеру залегания, структуре осадка и динамике палиноспектров, состоит из трех толщ и имеет значительные седиментационные перерывы (рис. 1). Благодаря детальному спорово-пыльцевому анализу вскрытых отложений уточнен их геологический возраст, реконструированы ландшафтно-климатические условия обитания раннепалеолитического человека, подробно охарактеризованы изменения флоры и растительности, происходившие на протяжении древнейших межледниковых и ледниковых эпох неоплейстоцена [1].



Рис. 1. Нижнеоплейстоценовые отложения раннепалеолитической стоянки Карамы. Цифрами обозначены литологические слои.

По результатам палинологического исследования установлено (рис. 2), что пыльцевые спектры из красноцветов нижней части разреза Карамы содержат значительное число экзотических элементов дендрофлоры. В их числе неморальные европейские и дальневосточные таксоны: граб сердцелистный (*Carpinus cordata*), грабинник (*C. Orientalis*), хмелеграб (*Ostrya sp.*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), липа сердцелистная (*Tilia cordata*), липа амурская (*T. Amurensis*) и липа маньчжурская (*T. Mandshurica*), вяз мелколистный (*Ulmus pumila*) и шелковица (*Morus sp.*). Наличие пыльцы этих растений и экологоценотические особенности обнаруженных экзотических таксонов позволяют определить возраст вмещающих отложений не моложе раннего неоплейстоцена.

Согласно данным палеоботанических исследований процесс первоначального заселения человеком Алтая в целом проходил в благоприятных климатических условиях. В это время в окрестностях Карамы произрастали березовые и сосновые леса с участием темнохвойных пород и неморальных европейских и дальневосточных таксонов.

Результаты климатостратиграфического расчленения разреза и полученные палеоклиматические реконструкции свидетельствуют о формировании этих отложений во время четырех палеогеографических этапов раннего неоплейстоцена, отвечающих

сменам двух теплых и двух холодных эпох межледникового и ледникового рангов. В совокупности материалы палинологического анализа и другие аналитические данные позволяют предположить, что накопление этих отложений соответствует стадиям 16–19 изотопно-кислородной шкалы, т.е. определить их возраст в диапазоне 600–800 тыс. лет. В настоящее время это наиболее древние культуроросодержащие слои с надежным литологическим и биостратиграфическим обоснованием, выявленные на территории Северной Азии.

Раннепалеолитическая галечная индустрия Карамы свидетельствует о заселении территории Алтая популяциями *Homo erectus*, пришедшими, скорее всего, с первой миграционной волной из Африки [2]. Первая волна древнейших мигрантов двигалась в двух основных направлениях: 1) через Ближний Восток на юг Европы – на Кавказ и в районы Средиземноморья; 2) через западные районы Азии на восток. Предполагается, что на восток гоминины двигались

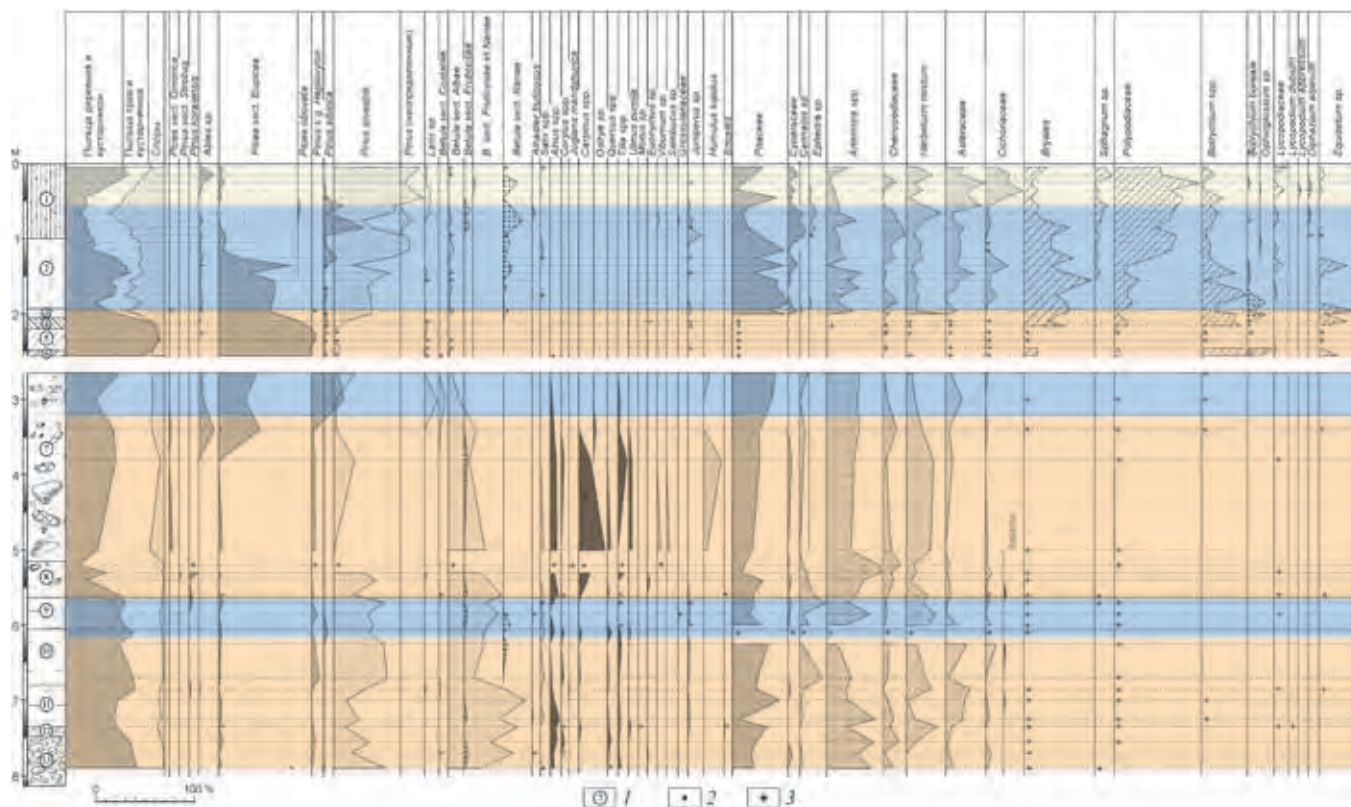


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений раннепалеолитической стоянки Карамы (аналитик Н.С. Болиховская) [1]: 1 – литологический слой; 2 – содержание пыльцы менее 1%; 3 – наличие спор в малочисленной группе (без подсчета процентов).

двумя путями. Один из них пролегал, видимо, южнее Гималаев и Тибетского нагорья через Индостан в Восточную и Юго-Восточную Азию. Другой, северный, миграционный путь проходил, скорее всего, через Переднеазиатские нагорья в Центральную и Северную Азию.

Хроностратиграфическая колонка Карамы указывает на то, что представители первой миграционной волны обитали на Алтае на протяжении почти всей первой половины раннего неоплейстоцена. После холодного максимума, соответствующего изотопной стадии 16, в связи с общим ухудшением природной обстановки ранние гоминины, скорее всего, ушли в районы с более умеренным климатом.

Палеогенетические исследования останков ранних гомининов

Следующий документированный период древнейшей истории Алтая, представленный археологическими и естественнонаучными материалами из Денисовой пещеры, начался во второй половине среднего плейстоцена. Комплексные исследования мощной толщи пещерных отложений, показали непрерывное развитие палеолитических традиций в течение как минимум 280 тыс. лет и автохтонное становление культуры верхнего палеолита на местной среднепалеолитической основе в хронологическом интервале 50–40 тыс. лет назад, без заметных признаков внешних влияний. При этом наборы каменных и костяных орудий, а также предметы символической деятельности свидетельствуют о достаточно высоком уровне материальной и духовной культуры обитателей Алтая в начале верхнего палеолита.

В этой связи огромный интерес представляют результаты палеогенетических исследований антропологических находок из культурного слоя начальной стадии верхнего палеолита в Денисовой пещере, проведенных в Институте эволюционной

антропологии Макса Планка в Лейпциге под руководством профессора С. Паабо [3–5]. Расшифровка сначала митохондриальной, а затем и ядерной ДНК из костных образцов (рис. 3) показала, что они принадлежат ранее не известному науке ископаемому гоминину, который по месту обнаружения антропологических останков получил название человек алтайский или денисовец. Анализ секвенированного генома представителей новой группы древних гомининов показал их сестринскую близость неандертальцам, т.е. сначала ветвь их предков отделилась от общего с человеком современного физического вида эволюционного ствола, а потом произошло и их разделение.

Популяция денисовцев сосуществовала в северо-западной части Алтая вместе с наиболее восточной группой неандертальцев, установленной по данным анализа митохондриальной ДНК останков ископаемого человека из пещер Окладникова и Чагырской [6], т.е. в период 50–40 тыс. лет назад на этой территории обитали по соседству две разные группы первобытных людей. При этом неандертальцы пришли сюда примерно 50 тыс. лет назад, скорее всего,

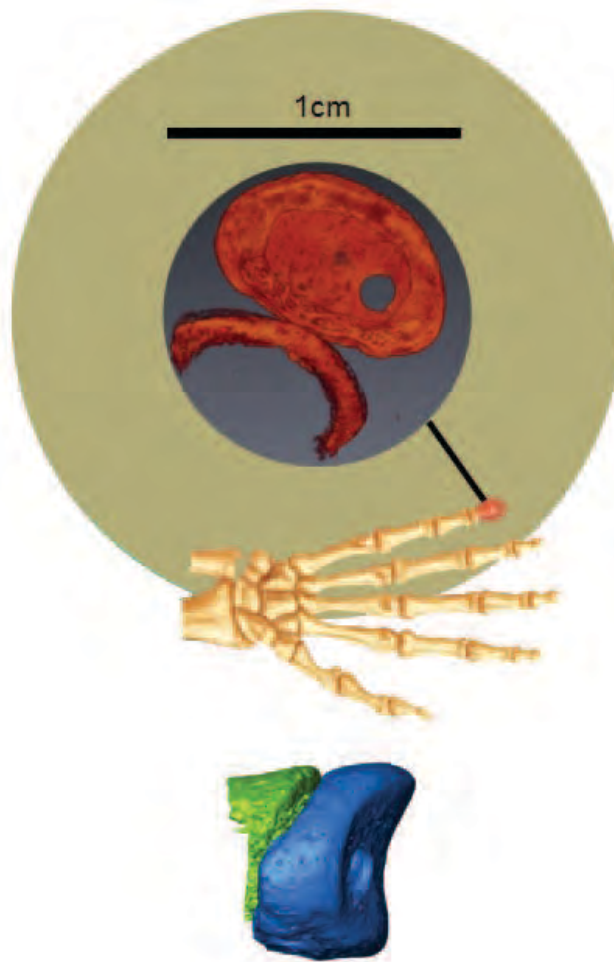


Рис. 3. Рентгенограмма фаланги денисовца из культурного слоя начальной стадии верхнего палеолита в Денисовой пещере.

с территории современного Узбекистана. А корни культуры, носителями которой были денисовцы, прослеживаются в древнейших горизонтах Денисовой пещеры. Способы и приемы жизнедеятельности денисовцев не уступали, а в некоторых аспектах превосходили поведенческие характеристики человека современного физического облика, жившего в одно и то же время с ними на других территориях.

Новейшие палеогенетические данные показали также, что до 4% генома современного человека «принадлежит» неандертальцам, что свидетельствует о возможном скрещивании этих двух видов на определенном эволюционном этапе. Что касается денисовцев, то 4–6% их генома несут современные жители южного полушария: коренное население Австралии и островов Меланезии. Нужно отметить, что на протяжении плейстоцена уровень мирового океана значительно колебался, и острова Юго-Восточной Азии, Австралия и Папуа-Новая Гвинея периодически представляли собой части протоматериков Сунда и Сахул. Поэтому в период от 60 до 40 тыс. лет назад были этапы, когда человек мог передвигаться из Азии в южном направлении и заселять эти территории вплоть до Австралии, о чем и свидетельствуют современные генетические данные.

Таким образом, и неандертальцы, и денисовцы получили право войти в число предков современного человека. Эти открытия позволяют говорить о новой модели становления человека современного физического облика [7] в противовес теории моноцентризма, согласно которой единственным очагом становления современного человека являлась Восточная Африка, откуда потом и произошло его расселение по территории Евразии.



Рис. 4. Четыре зоны формирования верхнего палеолита и человека современного физического вида.

Новая версия полицентризма или мультирегиональной эволюции человека основана, прежде всего, на данных археологии: если бы коренное население везде замещалось человеком разумным, пришедшим из Африки, то и культурные проявления ранней стадии верхнего палеолита должны были быть достаточно однородными на территории всей первобытной ойкумены. Однако археологические материалы свидетельствуют, что это далеко не так: каменные индустрии начальной поры верхнего палеолита в Африке, в западной части Евразии, на юге Сибири и на востоке Азии принципиальным образом отличаются друг от друга, что подразумевает культурную и, следовательно, генетическую непрерывность у первобытного населения в каждом из этих регионов.

Согласно археологическим, антропологическим и генетическим материалам из древнейших местонахождений Африки и Евразии можно говорить о том, что на земном шаре существовало несколько зон, в которых шел самостоятельный процесс эволюции популяций *Homo erectus* и развития технологий обработки камня. В каждой из этих зон складывались свои культурные традиции, свои модели перехода от среднего к верхнему палеолиту и происходило независимое становление ранних форм человека разумного: африканской в Восточной и Южной Африке, ориентальной в Восточной и Юго-Восточной Азии, неандертальской и алтайской на территории остальной части Евразии (рис. 4), которые в разной степени внесли вклад в формирование анатомически современного человека.

Мультидисциплинарный подход в изучении древних популяций

Наиболее действенным методом в изучении древних популяций и этногенетических процессов является интеграция данных, получаемых в

результате археологических, антропологических и палеогенетических исследований. Такая модель была разработана для населения юга Западной Сибири на протяжении последних 8 тыс. лет. Наиболее ранние группы представлены популяциями эпохи неолита и раннего металла, которые демонстрируют относительную независимость популяций, их материальной и духовной культуры, антропологических характеристик – недифференцированный автохтонный тип северной евразийской антропологической формации, а также структуры генофонда – специфический состав гаплогруппы митохондриальной ДНК, наличие автохтонных филогенетических кластеров [8].

Последующие периоды, начиная с эпохи развитой бронзы (II тыс. до н.э.), характеризуются развитием автохтонных компонентов и различным вкладом внешних факторов. Первое существенное влияние фиксируется данными археологии, антропологии и палеогенетики и связано с миграцией на восток носителей андроновской (федоровской) культуры. Не менее отчетливо наблюдается последующая мозаичность обитавших в регионе популяций в эпоху поздней бронзы (вторая половина II тыс. до н.э.), фиксируемых археологически, антропологически и палеогенетически.

Начиная с переходного от бронзы к железу времени (вторая половина X–VIII вв. до н.э.) и в последующие периоды миграционные потоки генетически контрастных популяций становятся постоянным и одним из определяющих факторов этнокультурных процессов в регионе [9].

Находки остатков мягких тканей человека, а также мумифицированных тел женщины и мужчины (рис. 5) на плато Укок (пазырыкская культура) открыли новые возможности для анализа проблем этногенеза коренных жителей Сибири в целом и носителей пазырыкской культуры в

Рис. 5. Мумия мужчины из кургана № 3 могильника Верх-Кальджин-2.



частности. Творческое сотрудничество с исследователями из Института цитологии и генетики СО РАН позволило получить образцы ДНК из мягких тканей ископаемых объектов.

Химическому и биохимическому исследованию были подвергнуты ткани мумий, проведена оценка влагосодержания, анализ мышечных тканей, сохранности минерального и органического компонентов костной ткани, а также дана биохимическая оценка состояния различных тканей мумий после проведения их консервации. Изучены морфологические особенности и цветовые характеристики кожи и волос мумий, структурная организация тканей кожи головы и живота [10].

Особую значимость имеет исследование ископаемой ДНК, получаемой из мягких тканей мумий и костных остатков [11, 12].

Анализ изотопов углерода и азота пищевой диеты носителей пазырыкской культуры свидетельствует о том, что их рацион был богат не только животными белками, но и белками пресноводных рыб, что было установлено впервые [10].

Анализ татуировки на пазырыкских мумиях методом рентгеноспектрального микрозондирования установил, что она наносилась с помощью растительного красителя. В состав краски, видимо, входили обугленные остатки растений, их зола или сажа с высоким содержанием калия [13].

Комплексное изучение укокских материалов позволило реконструировать способы бальзамирования, которыми пользовались пазырыкцы для сохранения тел умерших. На поверхности кожи женской мумии с Укока найдены следы ртути, входившей в состав для обработки тела. Это антисептическое средство способствовало сохранности мумии до ее погребения.

В результате патологоанатомических исследований биологических объектов удалось установить их возраст, расовую и половую принадлежность, при-

жизненные повреждения и возможные болезни [10]. Принципиально новые данные были получены в результате высокопольной магнитно-резонансной томографии мумии женщины из кургана Ак-Алаха-3. Томография позволила выявить целый ряд заболева-

ний, развивавшихся у данной особи с детства, чему способствовали природно-климатические условия Укока, экстремальные для человеческого организма, и ее образ жизни [14].

В Западной Сибири (включая Горный Алтай) обнаружены случаи истинных трепанаций, мотивированных лечебными целями (рис. 6). Была обобщена специфика культурно-исторического контекста этих трепанаций, дана оценка их адекватности с позиций современной нейрохирургии и радиологии, экспериментально-трасологическим методом реконструированы технологические приемы операций и проанализированы функциональные возможности орудий, которыми они могли быть выполнены (рис. 7). Для случаев пазырыкских трепанаций проведены исследования прилегающей к отверстию костной ткани современными физико-химическими методами (магнитно-резонансной томографии, масс-спектрометрии с индукционно-связанной плазмой, рентгенфлуоресцентного энергодисперсионного анализа с использованием синхротронного излучения) с целью установления состава металла, из которого были изготовлены хирургические инструменты [15].

Особый интерес представляет установление состава сплава, из которого изготавливались инструменты, использованные для проведения трепанаций, – оловянистой бронзы. В нем кроется, по-видимому, разгадка уникального феномена хирургии ранних кочевников – отсутствие послеоперационных осложнений, вызванных инфекцией. Речь идет об антимикробных свойствах меди и олова, которые совсем недавно стали применяться в современной медико-санитарной практике [16]. Увеличению антимикробного эффекта способствовала и сама техника трепанирования методом выскребания, благодаря чему целебные частицы меди и олова «втирались» в костную ткань. Технологические находки це-



Рис. 6. Черепа с трепанационным отверстием из курганов пазырыкской культуры (IV–III вв. до н.э.) Горного Алтая [15]. Стрелка указывает на след линейного перелома на левых височной и теменной костях, для устранения последствий которого проводилась операция.



Рис. 7. Древние «хирургические инструменты» из коллекции Минусинского музея [15]: 1 – ножи; 2 – ланцеты; 3 – пинцет.

лителей скифского мира имеют отношение к антисептической хирургии, особенно актуальной в наши дни в связи с глобальной угрозой, связанной с возрастающей устойчивостью болезнетворных бактерий к антибиотикам.

Палеобиологические и палеонтологические исследования

Одним из главных направлений в интеграции с естественнонаучными методами является палеонтологический анализ костного материала. Недавним открытием явилось наличие гигантского оленя *Megaloceros giganteus* Blum в раннеголоценовых археологических памятниках Барабинской лесостепи и Приангарья [17].

Палеоботанические исследования материалов из пазырыкских захоронений позволили определить породы дерева (лиственница, ель), из которых сооружались погребальный сруб и саркофаг, время и место их заготовки, видовой состав трав и кустарника, использовавшихся в качестве корма для лошадей, а также при бальзамировании и изготовлении женских париков. Особый интерес представляли личинки желудочного бычьего овода *Gasterophibus*

intestinalis, обнаруженные в желудках лошадей и свидетельствующие о времени формирования погребального комплекса с женской мумией – поздняя весна–раннее лето.

Исследование остатков курильского чая из погребений показало несовпадение его хроматографических показателей с современными образцами [10].

Дендрохронологические исследования

Коллекция образцов дерева, полученная на памятниках пазырыкской культуры Укока, позволила провести дендрохронологические исследования и разработать относительную хронологию не только отдельных захоронений, обнаруженных на плато, но и выполнить корреляцию в масштабах всей южной части Горного Алтая, а затем и прилегающих районов Северо-Западной Монголии. Благодаря этому была разработана плавающая хронология пазырыкских памятников Укока, свидетельствующая об очень коротком времени обитания здесь носителей культуры. В конечном счете, на основании более 300 образцов древесины, полученных из 40 курганов 16 могильников пазырыкской культуры юга Горного Алтая, установлены относительные даты их сооружения в рамках 446-летней «плавающей» шкалы. Все исследованные комплексы попали в узкий временной промежуток – около 50 лет [18].

Исследование дендрохронологии могильника хуннского времени Ноин-Ула (200 образцов) позволило скомпоновать шкалу в 211 лет (рис. 8). Распределение последних сохранившихся колец показало их разброс в диапазоне до 60 лет. С учетом плохой

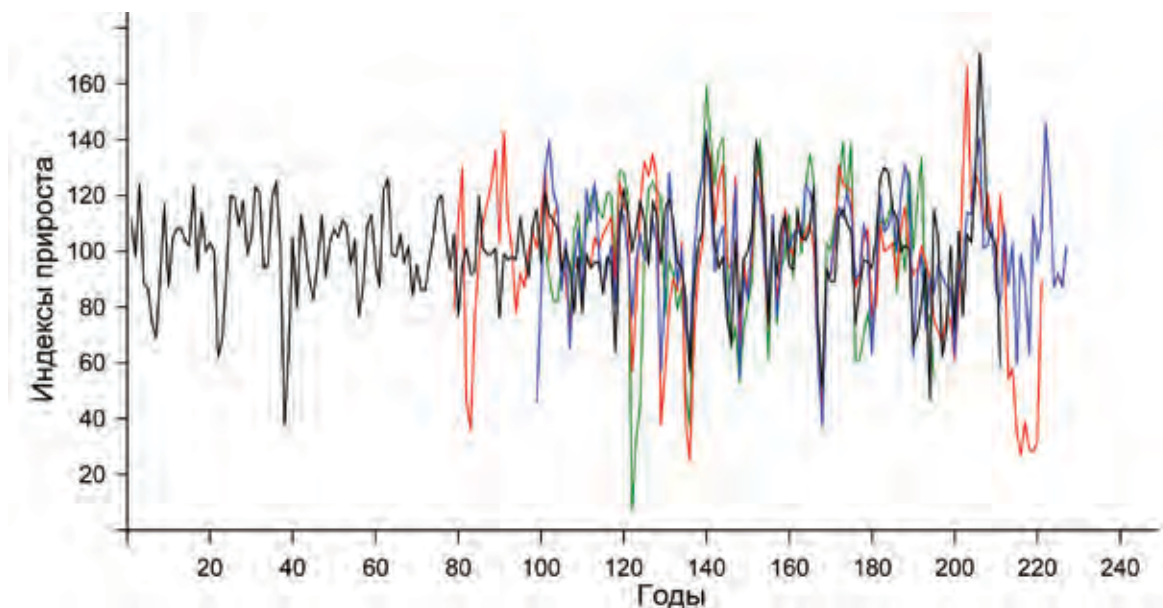


Рис. 8. Относительное перекрестное датирование «плавающих» обобщенных дендрохронологических шкал курганов №6, 20, 22, 31 могильника хунну Суцзуктэ, Ноин-Ула, Северная Монголия [18]. Кривые для курганов показаны цветами: зеленым – № 6, красным – № 20, синим – № 22, черным – № 31.

сохранности внешних колец достоверное заключение о датах курганов пока может быть лишь приблизительным. Проблема привязки «плавающей» археологической шкалы к абсолютному летоисчислению решается с помощью радиоуглеродного анализа.

Впервые была решена проблема абсолютной хронологии памятников пазырыкской культуры. Путем перекрестного датирования «плавающих» хронологических шкал каждого из курганов по абсолютной дендрошкале «Монгун-Тайги» (359 г. до н.э. – 2007 г.) получен календарный интервал сооружения курганов – 326–275 гг. до н.э. [18].

Междисциплинарное изучение древних производств

В последние годы накоплен существенный опыт междисциплинарного изучения древних производств, сочетающего методы физико-химических, технологических, трасологических, математических, экспериментальных исследований, интегрированных с собственно археологическими методами [19]. Важнейшим направлением является изучение древней керамики при помощи петрографического, термического и рентгенофазового анализа (рис. 9). Специалисты центра «Молекулярный дизайн и экологически безопасные технологии» Новосибирского государственного университета впервые в сибирской археологии определили технологические параметры исходного материала и представили объективные доказательства выявленных новаций в гончарстве, а также выделили импортные группы

древней посуды. Создан первый банк данных комплексного изучения образцов древней посуды из археологических памятников Западной Сибири и российского Дальнего Востока [20].

Яркий и многообразный корпус разных видов источников, полученных в ходе раскопок на юге Горного Алтая, позволил составить новое представление о древних технологиях. Совместно со специалистами Института геологии и минералогии СО РАН были установлены состав сплавов бронзовых предметов, а также технология их производства и обработки. Показано, что мастера применяли по крайней мере два технологических приема – лужение и амальгамирование. Важно также подчеркнуть, что полученные результаты имеют не только фундаментальное, но и прикладное значение для поиска новых месторождений на Алтае [10].

Окрашенные войлоки, мех и ткани стали объектом комплексного изучения с целью определения традиционного для пазырыкского текстиля состава красок и сырья, из которого их добывали. Установле-

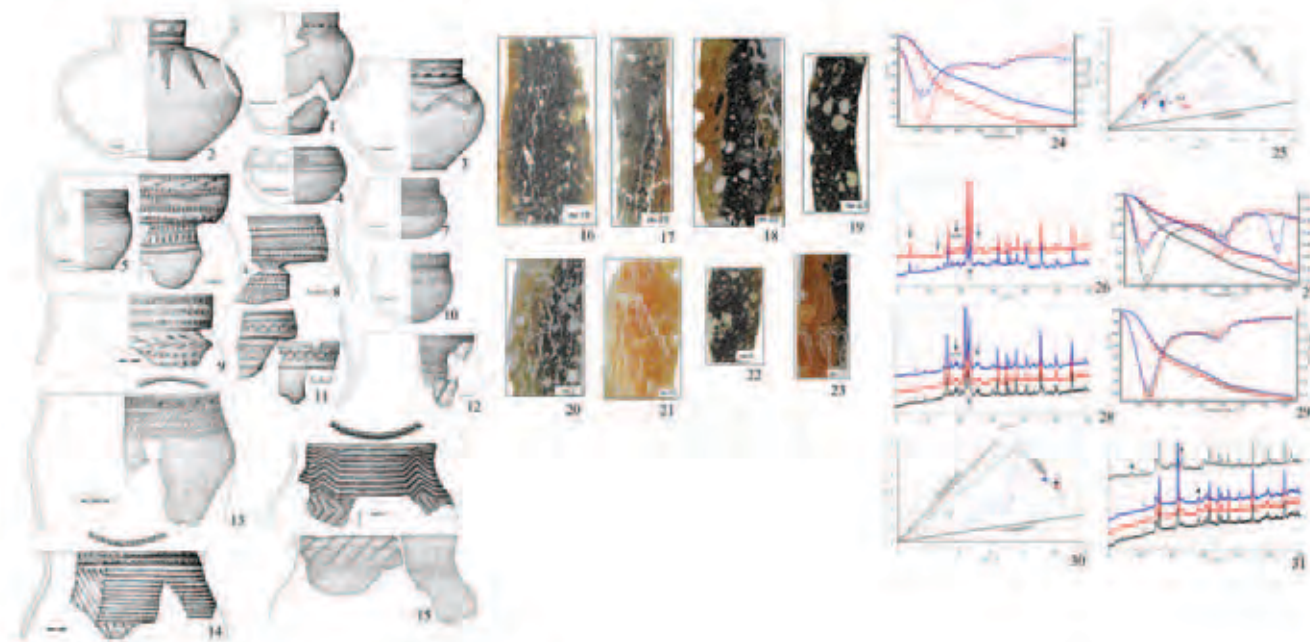


Рис. 9. Физико-химические исследования керамического комплекса поселения Линево-1: 1–15 – керамические сосуды поселения Линево-1; 16–23 – фото петрографических шлифов керамики; 24, 25, 27, 29, 30, 31 – термогравиметрические кривые и диаграммы образцов керамики; 21, 26, 28 – рентгенографические измерения образцов керамики.

но, что пазырыкский текстиль был окрашен сочетанием красителей как растительного, так и животного происхождения, нехарактерным для данного региона.

Использование пазырыкцами для окрашивания шерстяных тканей всего комплекса известных в то время красителей, тяготеющих к Средиземноморскому региону и не имеющих отношения к Алтаю, богатому собственными ресурсами растительных и минеральных красителей, позволяет предполагать пришлый характер части этой популяции, происхождение которой может быть связано с восточными окраинами Ахеменидской империи [21].

Масштабные исследования технологий изготовления предметов хуннского времени из ноинулинских курганов Северной Монголии проведены в содружестве с исследователями Института органической химии, Института химии твердого тела и механохимии, а также Института ядерной физики СО РАН. Так, для количественного элементного анализа сплавов использовали два метода – атомно-абсорбционную спектроскопию и масс-спектрометрию индуктивно-связанной плазмы. Установлено, что на поверхности всех металлических изделий присутствовало сложное покрытие, связанное с лужением [22]. Покрытие позолотой и золочение амальгамированием вообще является технологической особенностью медных и бронзовых предметов из ноинулинских курганов.

Для исследования металлических предметов использовали также рентгеноструктурный анализ и электронную сканирующую микроскопию на источнике синхротронного излучения ВЭПП-3 в Институте ядерной физики СО РАН. Было проведено изучение широкого спектра образцов как органического (волосы, зубная эмаль, кости, шерстяные ткани, растительные остатки), так и неорганического (металлические



Рис. 10. Геофизическая карта городища Чича-1. Цифрами обозначены номера археологических раскопок.

изделия, глина) происхождения из погребений знатных хунну [23].

Археолого-геофизические исследования

В сибирской археологии по-прежнему актуальна проблема поиска и идентификации археологических объектов, не выраженных в рельефе. Благодаря геофизическому мониторингу еще до проведения раскопок можно составить впечатление о характере памятника, его границах и определить стратегию дальнейших исследований. Совместно с германскими геофизиками проведены исследования переходного от эпохи бронзы к раннему железному веку городища Чича-1 в Западной Сибири (рис. 10). Полученные магнитные карты позволили провести раскопки с учетом знания структуры и контуров объектов. Для усовершенствования измерений использовали квантовые и протонные магнитометры, градиентометры и магнитовариационные станции «Geometrics», «GEM», «ГЕОМЕТР», «Геологоразвед-

ка» при чувствительности аппаратуры от 0.001 до 0.1 нТл. В рамках совместных археолого-геофизических исследований магнитное картирование проведено на десятках грунтовых и курганных могильниках, поселениях и городищах, датированных от эпохи неолита до эпохи средневековья [24]. В ряде случаев на поселенческих и погребальных комплексах проведено площадное каппометрическое картирование.

В результате цикла экспериментальных (частотное электромагнитное индукционное зондирование комплексом «ЭМС»), теоретических (математическое моделирование) и верификационных работ установлена эффективность комплексной геофизико-геохимической методики диагностики наличия линз мерзлоты и срубов из лиственницы в погребальных камерах курганов пазырыкской культуры. Подобные геофизические исследования на юге Горного Алтая и на северо-западе Монголии проведены впервые в мировой практике [25].

Коллективом исследователей из Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН был разработан опытный образец аэрогеофизического комплекса с магнитометрическим каналом, размещенным на борту беспилотного летательного аппарата сверхлегкого класса. Применение последнего предполагает, что магнитометр даже при высокой скорости полета должен отслеживать археологические объекты с различающимися магнитными свойствами размером до одного метра. Проведена корреляция данных на археологических объектах курган Бела Грива-1 и грунтовый могильник Тартас-1 в Барабинской лесостепи, где данные, полученные магнитной съемкой, показали высокую степень совпадения. Это подтвердило правомерность и перспективность применения данной технологии в будущем.

Заключение

Междисциплинарное изучение азиатских древностей Институтом археологии и этнографии СО РАН в тесном сотрудничестве с ведущими научными центрами РАН, Европы, Азии, Америки и Австралии (Институтом эволюционной антропологии общества Макса Планка, Германским археологическим институтом, Гарвардским, Оксфордским, Аризонским университетами и др.) позволило получить фундаментальные результаты, вошедшие в число наиболее значимых достижений современной археологической науки. Полученные прорывные результаты мирового класса предполагают дальнейшую концентрацию усилий на расширении внутрirosсийского и международного сотрудничества в области палеогенетики, палеоантропологии, палеогеографии, геофизики и других смежных наук.

Оценивая в целом перспективы развития сибирской археологии, можно уверенно констатировать, что ее будущее заключается прежде всего в тесном взаимодействии с естественными и точными дисциплинами. Этому способствует общая стратегия организации междисциплинарных исследований в Сибирском отделении Российской академии наук.

Литература

1. Н.С. Болиховская, М.В. Шуньков
Археология, этнография и антропология Евразии, 2014, №2(58), 2.
2. А.П. Деревянюк
Три глобальные миграции человека в Евразии. Т. 1: Происхождение человека и заселение им Юго-Западной, Южной, Восточной, Юго-Восточной Азии и Кавказа, Новосибирск, Изд. Института археологии и этнографии СО РАН, 2015, 612 с.
3. J. Krause, Q. Fu, J.M. Good, B. Viola, M.V. Shunkov, A.P. Derevianko, S. Pääbo
Nature, 2010, 464(7290), 894. DOI: 10.1038/nature08976.
4. D. Reich, R.E. Green, M. Kircher, J. Krause, N. Patterson, E.Y. Durand, B. Viola, A.W. Briggs, U. Stenzel, P.L.F. Johnson, T. Maricic, J.M. Good, T. Marques-Bonet, C. Alkan, Q. Fu, S. Mallick, H. Li, M. Meyer, E.E. Eichler, M. Stoneking, M. Richards, S. Talamo, M.V. Shunkov, A.P. Derevianko, J.-J. Hublin, J. Kelso, M. Slatkin, S. Pääbo
Nature, 2010, 468(7327), 1053. DOI: 10.1038/nature09710.
5. M. Meyer, M. Kircher, M.-T. Gansauge, H. Li, F. Racimo, S. Mallick, J.G. Schraiber, F. Jay, K. Prüfer, C. de Filippo, P.H. Sudmant, C. Alkan, Q. Fu, R. Do, N. Rohland, A. Tandon, M. Siebauer, R.E. Green, K. Bryc, A.W. Briggs, U. Stenzel, J. Dabney, J. Shendure, J. Kitzman, M.F. Hammer, M.V. Shunkov, A.P. Derevianko, N. Patterson, A.M. Andrés, E.E. Eichler, M. Slatkin, D. Reich, J. Kelso, S. Pääbo
Science, 2012, 338(6104), 222. DOI: 10.1126/science.1224344.
6. J. Krause, L. Orlando, D. Serre, B. Viola, K. Prüfer, M.P. Richards, J.-J. Hublin, C. Hänni, A.P. Derevianko, S. Pääbo
Nature, 2007, 449(7164), 902. DOI: 10.1038/nature06193.
7. А.П. Деревянюк
Верхний палеолит в Африке и Евразии и формирование человека современного анатомического типа, Новосибирск, Изд. Института археологии и этнографии СО РАН, 2011, 560 с.
8. Мультидисциплинарные исследования населения Барабинской лесостепи IV–I тыс. до н.э.: археологический, палеогенетиче-

- ский и антропологический аспекты. *Интеграционные проекты СО РАН*, вып. 46, под ред. В.И. Молодина, Новосибирск, Изд. СО РАН, 2013, 220 с.
9. **В.И. Молодин, А.С. Пилипенко, Д.В. Поздняков**
В Сб. тез. докл. Междунар. симп. «Мультидисциплинарные методы в археологии: новейшие итоги и перспективы» (Новосибирск, 22–26 июня, 2015), Новосибирск, Изд. Института археологии и этнографии СО РАН, 2015, с. 72–74.
 10. **Феномен алтайских мумий (коллективная монография)**, под ред. А.П. Деревянко, В.И. Молодина, Новосибирск, Изд. Инст. археологии и этнографии СО РАН, 2000, 320 с.
 11. **Население Горного Алтая в эпоху раннего железного века как этнокультурный феномен: происхождение, генезис, исторические судьбы (по данным археологии, антропологии, генетики) (монография)**, *Интеграционные проекты СО РАН*, Вып. 1, под ред. В.И. Молодина, Новосибирск, Изд. СО РАН, 2003, 286 с.
 12. **А.С. Пилипенко, Р.О. Трапезов, Н.В. Полосьмак**
Археология, этнография и антропология Евразии, 2015, 43(2), 138. DOI: 10.17746/1563-0102.2015.43.2.138-145.
 13. **Н.В. Полосьмак, Л.П. Кундо, В.В. Малахов, А.А. Власов**
В Сб. *Интеграционные программы фундаментальных исследований*, Новосибирск, Изд. СО РАН, 1998, с. 386–392.
 14. **А.Ю. Лютягин, А.А. Савелов, Н.В. Полосьмак**
Археология, этнография и антропология Евразии, 2014, №4(60), 83.
 15. **Т.А. Чикишева, А.В. Зубова, А.Л. Кривошапкин, В.П. Курбатов, П.В. Волков, А.Т. Тутов**
Археология, этнография и антропология Евразии, 2014, №1(57), 130.
 16. **J.O. Noyce, H. Michels, C.W. Keevil**
J. Hosp. Infect., 2006, 63(3), 289. DOI: 10.1016/j.jhin.2005.12.008.
 17. **J. van der Plicht, V.I. Molodin, Y.V. Kuzmin, S.K. Vasiliev, A.V. Postnov, V.S. Lavinsky**
Quaternary Sci. Rev., 2015, 114, 182. DOI: 10.1016/j.quascirev.2015.02.013.
 18. **И.Ю. Слюсаренко**
В Сб. «Terra Scythica»: *Материалы международного симпозиума «Terra Scythica» (Денисова пещера, Горный Алтай, 17–23 августа, 2011)*, под ред. В.И. Молодина, С. Хансена, Новосибирск, Изд. Института археологии и этнографии СО РАН, 2011, с. 239–251.
 19. **Л.Н. Мыльникова, И.А. Дураков, В.П. Мыльников, А.П. Бородовский**
В Сб. тез. докл. Междунар. симп. «Мультидисциплинарные методы в археологии: новейшие итоги и перспективы» (Новосибирск, 22–26 июня, 2015), Новосибирск, Изд. Института археологии и этнографии СО РАН, 2015, с. 96–97.
 20. **Физико-химическое исследование керамики (на примере изделий переходного времени от бронзового к железному веку) (монография)**, *Интеграционные проекты СО РАН*, вып. 6, под ред. В.В. Болдырева, В.И. Молодина, Новосибирск, Изд-во. СО РАН, 2006, 98 с.
 21. **Текстиль из «замерзших» могил Горного Алтая IV–III вв. до н.э. (опыт междисциплинарного исследования) (монография)**, *Интеграционные проекты СО РАН*, вып. 5, под ред. Б.А. Литвинского, Новосибирск, Изд. СО РАН, 2006, 267 с.
 22. **А.И. Соловьев, В.И. Маматюк, Е.В. Картова, В.Г. Васильев, С.С. Шацкая, К.Э. Купер, Л.П. Кундо, Е.С. Богданов, Н.В. Полосьмак**
В Сб. *Естественнонаучные методы исследований и парадигма современной археологии: Материалы Всероссийской научной конференции (Москва, 8–11 декабря, 2015)*, под ред. М.В. Добровольской, Е.Н. Черных, Москва, Изд. Языки славянской культуры, 2015, с. 80–88.
 23. **V. Trunova, V. Zvereva, N. Polosmak, D. Kochubey, V. Kriventsov, K. Kuper**
Archaeometry, 2015, 57(6), 1060. DOI: 10.1111/arcm.12109.
 24. **П.Г. Дядьков, О.А. Позднякова**
В Сб. тез. докл. Междунар. симп. «Мультидисциплинарные методы в археологии: новейшие итоги и перспективы» (Новосибирск, 22–26 июня, 2015), Новосибирск, Изд. Института археологии и этнографии СО РАН, 2015, с. 29–61.
 25. **В.И. Молодин, Г. Парцингер, Д. Цэвэндорж**
Замерзшие погребальные комплексы пазырыкской культуры на южных склонах Сайлюгема (Монгольский Алтай), Москва, Изд. Триумф принт, 2012, с. 324–346.

English

Multidisciplinary Studies in Archaeology of Northern Asia *

Anatoliy P. Derevyanko –
Academician, Professor,
Institute of Archaeology and Ethnography, SB RAS
17, Acad. Lavrentiev Ave.,
Novosibirsk, 630090, Russia
e-mail: derev@archaeology.nsc.ru

Vyacheslav I. Molodin –
Academician, Professor,
Institute of Archaeology and Ethnography, SB RAS
17, Acad. Lavrentiev Ave.,
Novosibirsk, 630090, Russia
e-mail: Molodin@archaeology.nsc.ru

Mikhail V. Shunkov –
Professor,
Director of Institute of Archaeology
and Ethnography, SB RAS
17, Acad. Lavrentiev Ave.,
Novosibirsk, 630090, Russia
e-mail: shunkov77@gmail.com

Abstract

This paper presents the major results of comprehensive studies of unique archaeological sites in Siberia and adjacent areas that were obtained using methods of different natural sciences. On the basis of the general integration of archeology, paleontology, anthropology, paleogenetics, geophysics and other sciences data, a new knowledge of the ancient cultural processes, paleolandscapes and paleoclimate, paleoecology and ethnic relations in North Asian populations in a wide chronological range from the Lower Paleolithic to the Early Iron Age have been obtained.

Keywords: archaeology, paleogeography, Pleistocene, paleogenetics, paleoanthropology, paleo-ontology, paleobiology, dendrochronology, geophysical monitoring.

* *The work was financially supported by RFBR (projects 13-06-12002, 13-06-12022 and 13-06-12026).*

References

1. N.S. Bolikhovskaya, M.V. Shunkov
Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia, 2014, 42(2), 2. DOI: 10.1016/j.aeae.2015.01.001.
2. A.P. Derevyanko
Three Global Human Migrations in Eurasia. Vol. 1: Human Origin and Early Peopling of Southwestern, Southern, Eastern and Southeastern Asia and the Caucasus, Novosibirsk, Institute of Archaeology and Ethnography, SB RAS Publ., 2015, 612 pp. (in Russian).
3. J. Krause, Q. Fu, J.M. Good, B. Viola, M.V. Shunkov, A.P. Dereviianko, S. Pääbo
Nature, 2010, 464(7290), 894. DOI: 10.1038/nature08976.
4. D. Reich, R.E. Green, M. Kircher, J. Krause, N. Patterson, E.Y. Durand, B. Viola, A.W. Briggs, U. Stenzel, P.L.F. Johnson, T. Maricic, J.M. Good, T. Marques-Bonet, C. Alkan, Q. Fu, S. Mallick, H. Li, M. Meyer, E.E. Eichler, M. Stoneking, M. Richards, S. Talamo, M.V. Shunkov, A.P. Dereviianko, J.-J. Hublin, J. Kelso, M. Slatkin, S. Pääbo
Nature, 2010, 468(7327), 1053. DOI: 10.1038/nature09710.
5. M. Meyer, M. Kircher, M.-T. Gansauge, H. Li, F. Racimo, S. Mallick, J.G. Schraiber, F. Jay, K. Prüfer, C. de Filippo, P.H. Sudmant, C. Alkan, Q. Fu, R. Do, N. Rohland, A. Tandon, M. Siebauer, R.E. Green, K. Bryc, A.W. Briggs, U. Stenzel, J. Dabney, J. Shendure, J. Kitzman, M.F. Hammer, M.V. Shunkov, A.P. Dereviianko, N. Patterson, A.M. Andrés, E.E. Eichler, M. Slatkin, D. Reich, J. Kelso, S. Pääbo
Science, 2012, 338(6104), 222. DOI: 10.1126/science.1224344.
6. J. Krause, L. Orlando, D. Serre, B. Viola, K. Prüfer, M.P. Richards, J.-J. Hublin, C. Hänni, A.P. Dereviianko, S. Pääbo
Nature, 2007, 449(7164), 902. DOI: 10.1038/nature06193.
7. A.P. Derevyanko
Upper Paleolithic in Africa and Eurasia and the Formation of Anatomically Modern Human [Verkhniy paleolit v Afrike i Evrazii i formirovaniy cheloveka sovremennogo anatomicheskogo tipa], Novosibirsk, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS Publ., 2011, 560 pp. (in Russian).
8. *The Interdisciplinary Research of Baraba Forest-Steppe Populations (IV–I millennium BC): Archaeological, Paleogenetic and Anthropological Perspectives*. SB RAS Integrate projects, [Multidistsiplinarnye issledovaniya naseleniya Barabinskoy lesostepi IV–I tys. do n.e.: arkhologicheskii, paleogeneticheskii i antropologicheskii aspekty. Integratsionnye proekty SO RAN], Iss. 46, Ed. V.I. Molodin, Novosibirsk, SB RAS Publ., 2013, 220 pp. (in Russian).
9. V.I. Molodin, A.S. Pilipenko, D.V. Pozdnyakov
In Proc. International Symposium "Multidisciplinary Methods in Archaeology: Latest Updates and Outlook" (Novosibirsk, June 22–26, 2015), Novosibirsk, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS Publ., 2015, pp. 72–74 (in Russian).
10. *Phenomenon of the Altai Mummies (collective monograph) [Fenomen altayskikh mumiy (kollektivnaya monografiya)]*, Eds A.P. Derevyanko, V.I. Molodin, Novosibirsk, Institute of Archaeology and Ethnography, SB RAS Publ., 2000, 320 pp. (in Russian).
11. *The Gorny Altai Population in the Early Iron Age as an Ethnocultural Phenomenon: Origin, Genesis, and Historical Destiny (Archaeological, Anthropological, and Genetic Perspectives) (monograph)*, SB RAS Integrate projects [Naselenie Gornogo Altaya v epokhu rannego zheleznoogo veka kak etnokulturnyy fenomen: proiskhozhdenie, genesis, istoricheskie sudby (po dannym arkhologii, antropologii, genetiki) (monografiya), Integratsionnye proekty SO RAN], Iss. 1, Ed. V.I. Molodin, Novosibirsk, SB RAS Publ., 2003, 286 pp. (in Russian).
12. A.S. Pilipenko, R.O. Trapezov, N.V. Polosmak
Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia, 2015, 43(2), 138. DOI: 10.1016/j.aeae.2015.09.014.
13. N.V. Polosmak, L.P. Kundo, V.V. Malakhov, A.A. Vlasov
In Proc. Integration Programs of Fundamental Researches, Novosibirsk, SB RAS Publ., 1998, pp. 386–392 (in Russian).
14. A.Y. Letyagin, A.A. Savelov, N.V. Polosmak
Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia, 2014, 42(4), 83. DOI: 10.1016/j.aeae.2015.06.009.
15. T.A. Chikisheva, A.V. Zubova, A.L. Krivoshapkin, V.P. Kurbatov, P.V. Volkov, A.T. Titov
Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia, 2014, 42(1), 130. DOI: 10.1016/j.aeae.2014.10.013.
16. J.O. Noyce, H. Michels, C.W. Keevil
J. Hosp. Infect., 2006, 63(3), 289. DOI: 10.1016/j.jhin.2005.12.008.
17. J. van der Plicht, V.I. Molodin, Y.V. Kuzmin, S.K. Vasiliev, A.V. Postnov, V.S. Lavinsky
Quaternary Sci. Rev., 2015, 114, 182. DOI: 10.1016/j.quascirev.2015.02.013.
18. И.Ю. Слосаренко
In Proc. «Terra Scythica»: Materials of International Symposium «Terra Scythica» (Denisova Cave, Altai Mountains, August 17–23, 2011), Eds V.I. Molodin, S. Hansen, Novosibirsk, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, Publ., 2011, pp. 239–251 (in Russian).
19. L.N. Mylnikova, I.A. Durakov, V.P. Mylnikov, A.P. Borodovskiy
In Proc. International Symposium "Multidisciplinary Methods in Archeology. Latest Update and Outlook" [Mezhdunaronyy symposium "Multidistsiplinarnye metody v arkhologii: noveyshie itogi I perspektivy], (Novosibirsk, 22–26 June, 2015), Novosibirsk, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS Publ., 2015, pp. 96–97 (in Russian).
20. *Physical and Chemical Characteristics of Late Bronze and Early Iron Age Ceramics (monograph)*, SB RAS Integrate projects [Fiziko-khimicheskoe issledovanie keramiki (na primere izdliy perekhodnogo vremeni ot bronzovogo k zheleznomu veku) (monografiya), Integratsionnye proekty SO RAN], Iss. 6, Eds V.V. Boldyrev, V.I. Molodin, Novosibirsk, SB RAS Publ., 2006, 98 pp. (in Russian).
21. *Textiles from the "Frozen" Tombs in Altai Mountains 400–300 BC: experience of interdisciplinary research (monograph)*, SB RAS Integrate projects [Tekstil iz "zamerzhikh" mogil Gornogo Altaya IV–III vv. do n.e. (opyt mezhdistsiplinarnogo issledovaniya) (monografiya), Integratsionnye proekty SO RAN], Iss. 5, Ed. B.A. Litvinskiy, Novosibirsk, SB RAS Publ., 2006, 267 pp. (in Russian).
22. A.I. Soloveva, V.I. Mamatyuk, E.V. Karpova, V.G. Vasilev, S.S. Shat-skaya, K.E. Kuper, L.P. Kundo, E.S. Bogdanov, N.V. Polosmak
In Proc. All-Russian Sci. Conf. "Natural science research methods and paradigm of modern archaeology" [Estesvennonauchnye metody issledovaniy i paradigm sovremennoy arkhologii], (Moscow, 8–11 December, 2015), Eds M.V. Dobrovolskaya, E.N. Chernykh, Moscow, Yazyki slavyanskoy kultury Publ., 2015, pp. 80–88 (in Russian).
23. V. Trunova, V. Zvereva, N. Polosmak, D. Kochubey, V. Kriventsov, K. Kuper
Archaeometry, 2015, 57(6), 1060. DOI: 10.1111/arc.12109.
24. P.G. Dyadkov, O.A. Pozdnyakova
In Proc. International Symposium "Multidisciplinary Methods in Archeology. Latest Update and Outlook" [Mezhdunaronyy symposium "Multidistsiplinarnye metody v arkhologii: noveyshie itogi I perspektivy], (Novosibirsk, 22–26 June, 2015), Novosibirsk, Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS Publ., 2015, pp. 96–97 (in Russian).
25. V.I. Molodin, G. Partsinger, D. Tseveendorzh
Frozen Funeral Complexes of Pazyryk Culture on the Sailugem Southern Slopes (Mongolian Altai), Moscow, Triumph Print Publ., 2012, pp. 324–346 (in Russian).

Технологии 3D-моделирования в изучении пространственных аспектов городской истории: виртуальная реконструкция монастырского комплекса XIX – начала XX вв. *

Л.И. Бородкин, Д.И. Жеребятьев

Новый импульс развитию исторической урбанистики дало появление 3D-технологий, на основе которых стало возможным создавать виртуальные реконструкции исторической городской застройки в ее эволюции. Главная задача данного исследования – построение виртуальной реконструкции комплекса московского женского монастыря Всех скорбящих радости конца XIX – первой трети XX вв. Важный принцип реализации этой задачи в нашем исследовании – опора на данные комплекса источников, характеризующих объекты реконструкции в их эволюции.

Ключевые слова: виртуальная реконструкция, 3D-моделирование, историческая урбанистика, монастырский комплекс.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-06-00453).

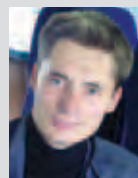
В соответствии со сложившейся в последние десятилетия практикой городская история (или историческая урбанистика) изучает в основном историю не столько городов, сколько живших в городах людей и события, которые там происходили [1]. Уход от «биографий городов» в сторону социальной истории обладал, наряду с позитивными результатами, негативными последствиями. Наиболее существенным из них является то, что «слишком часто стремление историков к обобщениям затемняло пространственную и географическую специфику конкретных городов» [1]. В результате исследования подобного рода (анализ эволюции городской архитектуры, структуры исторической застройки, ее реконструкции и т.д.) были отнесены на периферию городской истории, а иногда и вовсе вынесены за ее пределы.

Новый импульс развитию этой области исторической урбанистики дало появление новых компьютерных 3D-технологий, на основе которых стало возможным создавать виртуальные реконструкции исторической городской застройки в ее эволюции, нередко изменяющей облик зданий, улиц и площадей; иногда они исчезают с карты города – в результате радикальных перестроек или войн, пожаров и т.д. Использование в процессе построения виртуальной реконструкции методов и технологий 3D-моделирования требует новых источниковедческих подходов, ориентированных на синтез разнотипных источников, к тому же относящихся к различным периодам времени, в течение которых происходила эволюция изучаемой исторической застройки. Немаловажным аспектом такой работы является и обеспечение верификации создаваемой виртуальной реконструкции на основе соответствующей электронной документации.

В XX в. в России была разрушена значительная часть монастырей, многие из которых представляют интерес для изучения не только с точки зрения архитектурных особенностей, но и с точки зрения их социально-культурной роли и экономического значения. Несколько уничто-



БОРОДКИН
Леонид Иосифович
профессор,
МГУ им. М.В. Ломоносова



ЖЕРЕБЯТЬЕВ
Денис Игоревич
МГУ им. М.В. Ломоносова

женных монастырей располагались в Москве. Все они могут стать потенциальными объектами виртуальной реконструкции. Важным критерием для выбора объекта такого исследования становится степень сохранности источниковой базы. Исходя из этого, в качестве основного объекта исследования в данной работе был выбран московский женский монастырь Всех скорбящих радости конца XIX–первой трети XX вв. Процесс эволюции территории данного монастырского комплекса, расположенного в северной части Москвы, прослеживается, начиная с территории усадьбы княжны Александры Голицыной, давшей начало монастырю во второй половине XIX в., и завершая периодом постепенного уничтожения монастыря в 1917–1930 гг. Главная задача исследования – построение виртуальной реконструкции данного монастыря на двух временных срезах: 1894 г. (монастырь на ранней фазе постройки) и начало XX в., когда монастырь сохранял единый архитектурный стиль (до перестройки 1909 г.). Важный принцип реализации этой задачи в нашем исследовании – опора на данные комплекса источников, характеризующих объекты реконструкции в процессе их эволюции.

Отметим, что число зарубежных виртуальных реконструкций монастырских комплексов рода невелико. Это прежде всего виртуальные реконструкции цистерианского монастыря Санта-Мария XVI в. (район Санзедаш, Португалия) [2], монастыря Санта-Мария XII в. (г. Риполь, Испания) [3], монастыря Сент-Ави Сениер XII в. (департамент Дордонь, Франция) [4], аббатства Ключи X в. (департамент Сона и Луара, Франция; проект Cluny III) [5], цистерианского монастыря XII в. (г. Пилис, Венгрия) [6], монастыря Христа Пантеопта XI в. (г. Стамбул, Турция) [7]. Что касается российских исследований в этой области, то можно отметить проект «Виртуальная реконструкция Спасо-Преображенского мужского монастыря г. Енисейска XIX в.» Гуманитарного института Сибирского федерального университета [8].

Основой источниковой базы исследования по истории формирования и эволюции пространственной инфраструктуры монастыря Всех скорбящих радости являются материалы следующих архивов: Центрального историче-

ского архива Москвы (ЦИАМ), Центрального архива города Москвы (ЦАГМ), Российского государственного архива древних актов (РГАДА), Государственного архива Российской Федерации (ГА РФ). Архивные дела содержат разнообразную по содержанию, степени детальности, полноты и происхождению информацию. В указанных фондах были выявлены такие источники по истории монастыря, как чертежи, планы, фотографии, прошения, заявления, донесения, доклады, свидетельства, акты, описи, указы, протоколы, определения, письма. К опубликованным изобразительным источникам относятся, в частности, планы Москвы периода с середины XIX в. до 20-х гг. XX в. Представляют интерес и спутниковые карты.

В данной работе мы обращаемся ко всему комплексу перечисленных источников, что дает возможность восстановить событийный ряд, установить расположение строений монастыря, найти подтверждения гипотез или выявить «нестыковки» сведений из различных источников для того, чтобы в итоге получить целостный образ того объекта историко-культурного наследия, который подлежит виртуальной реконструкции.

Начиная со времени основания монастыря, он подвергался крупным перестройкам: возводились храмы, монашеские кельи, служебные постройки. Инициаторами строительных работ, проводившихся в монастыре, были игумены, по предложениям которых возводилась та или иная постройка, перестраивалась старая, перепланировалась часть территории. Революционные со-

бытия 1917 г. прервали историю развития монастыря. Сохранившийся источниковый комплекс позволяет поэтапно проследить процесс уничтожения монастыря: снос храмов, таких как храмы Трех Святителей, Архангела Рафаила, храм Тихвинской Божьей Матери и других зданий, а также рассмотреть перепланировку территории.

В процессе анализа и синтеза источников выявлялись основные проблемы, которые возникали при их сопоставлении. Не все монастырские строения, относящиеся к выбранным временным срезам реконструкции, были обозначены на планах; в существующих планах заметны ошибки, отсутствие ряда построек, упоминаемых в письменных источниках; в нескольких случаях отмечено несовпадение сведений чертежей и фотографий – следствие того, что тот или иной чертеж был только частично воплощен в ходе строительства.

Для решения задачи пространственной плоскостной реконструкции в программах Adobe Photoshop CS3 и Agisoft Photoscan помимо материалов топографических планов, спутниковых карт, в ходе работ по проекту на базе разработанного модуля беспилотного летательного аппарата гексакоптера Xaircraft x650 использовали технологии аэрофотосъемки современной территории в границах, которые занимал монастырь в начале XX в.

Процесс виртуальной реконструкции монастырского комплекса проводили поэтапно: моделирование монастырской территории, построение трехмерных моделей строений монастыря по группам (церкви и часовни,

училищные корпуса, больницы и т.д.), размещение трехмерных моделей построек на ландшафте в программе Unity3D, разработка программной оболочки верификации виртуальной реконструкции.

Построение ландшафта монастырской территории включало следующие этапы: интеграция плана, содержащего отметки высот, в трехмерное пространство; определение масштаба реконструкции; размещение на плане объектов шкалы высот (с помощью адаптации стандартной программы Unity3D с учетом источникового материала); генерация ландшафта на основании топографической карты Москвы; нанесение почвенного и растительного покрова; локализация водоема на территории монастыря (Васильевско-го пруда).

Для облегчения процесса генерации ландшафта в программе Unity3D на плане территории монастыря 1909 г. (аналогично и на плане 1894 г.) мы обозначили границы слоев красным цветом и желтым цветом отметки высот от уровня моря (рис. 1).

В качестве исходного материала план территории с отметкой слоев и высот был помещен в библиотеку программы 3D World Studio. Затем в программе была создана трехмерная модель «plane», на которую в качестве текстуры из библиотеки материалов был нанесен план территории монастыря. Следующим этапом стала процедура определения масштаба виртуальной реконструкции.

Построение 3D-моделей строений монастыря Всех скорбящих радости 1894 и 1909 гг.

Формат статьи не позволяет нам описать все методики, использовавшиеся в ходе данного исследования; мы проиллюстрируем наиболее важные из них, рассматривая вопросы построения виртуальной реконструкции ряда наиболее значимых объектов монастырского комплекса.

Процесс реконструкции застройки территории монастыря по его состоянию на 1894 г. был начат с построения трехмерных моделей храма Всемилоственного Спаса с колокольней, часовни-памятника А.А. Смирновой, монашеских келий и расположенных рядом с ними жилых и хозяйственных построек.



Рис. 1. План территории монастыря 1909 г. Красным цветом обозначены границы слоев, желтым цветом – отметки высот от уровня моря.

Начальным этапом создания трехмерной модели храма во имя Спаса Нерукотворного с колокольней (или храм Всемиловитового Спаса) стало построение рабочего чертежа, «понимаемого» программой 3D World Studio, основываясь на котором мы могли бы создать трехмерную модель. В программе Adobe Photoshop CS3 были открыты несколько планов храма (реконструированный план лицевого фасада здания, одной из его сторон и план основания), они были приведены в единый масштаб, планам (текстурам) был задан масштаб в пикселях 2048 на 2048 единиц и формат сохранения файла «.jpg». После интеграции текстур в библиотеку программы 3D World Studio на трехмерной сцене было создано три объекта «plane» по осям X , Y и Z с нанесенными чертежами храма (рис. 2).

Первоначально в 3D-модели возводили фундамент храма; далее, учитывая, что храм имел зеркальные стороны бокового фасада, мы реконструировали только одну из стен от центрального входа до середины центрального алтаря храма. После окончания процедуры возведения боковой стены фасада была ре-

ализована методика зеркального отражения трехмерной модели посредством функции Mirror по координате X (рис. 3, 4). Подобная процедура неоднократно применялась при возведении крыши и колокольни храма, а также ряда небольших фрагментов модели.

Построение трехмерной модели храма осуществляли поэтажно. Созданную модель этажа сохраняли в отдельный файл, после чего модель почти полностью удаляли со сцены, за исключением небольшой части фрагментов этажа, которые в дальнейшем продолжали надстраивать.

В результате удалось создать высокополигональную модель с наименьшими затратами программных мощностей компьютера. В завершение работы посредством программной функции «Merge» в 3D World Studio осуществляли процедуру объедине-

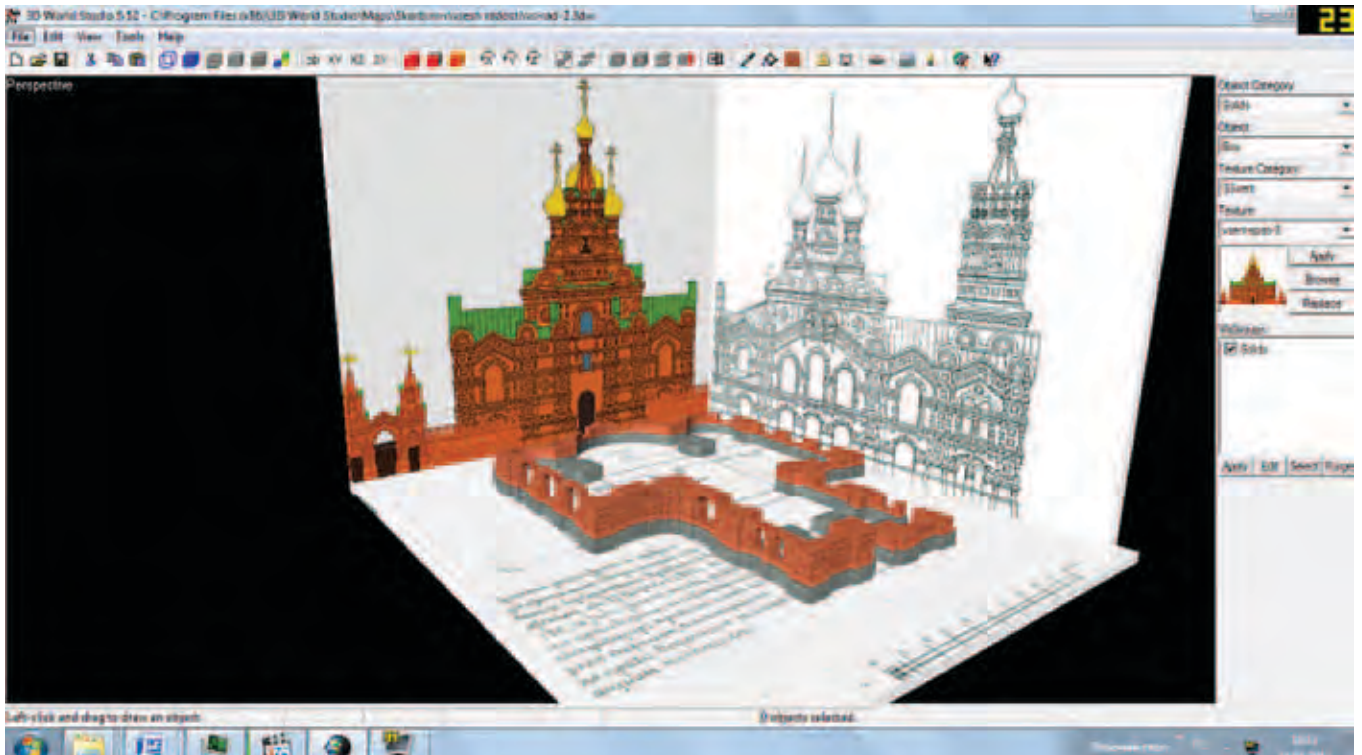


Рис. 2. Начальный этап реконструкции храма Всемилоостивого Спаса в программе 3D World Studio.

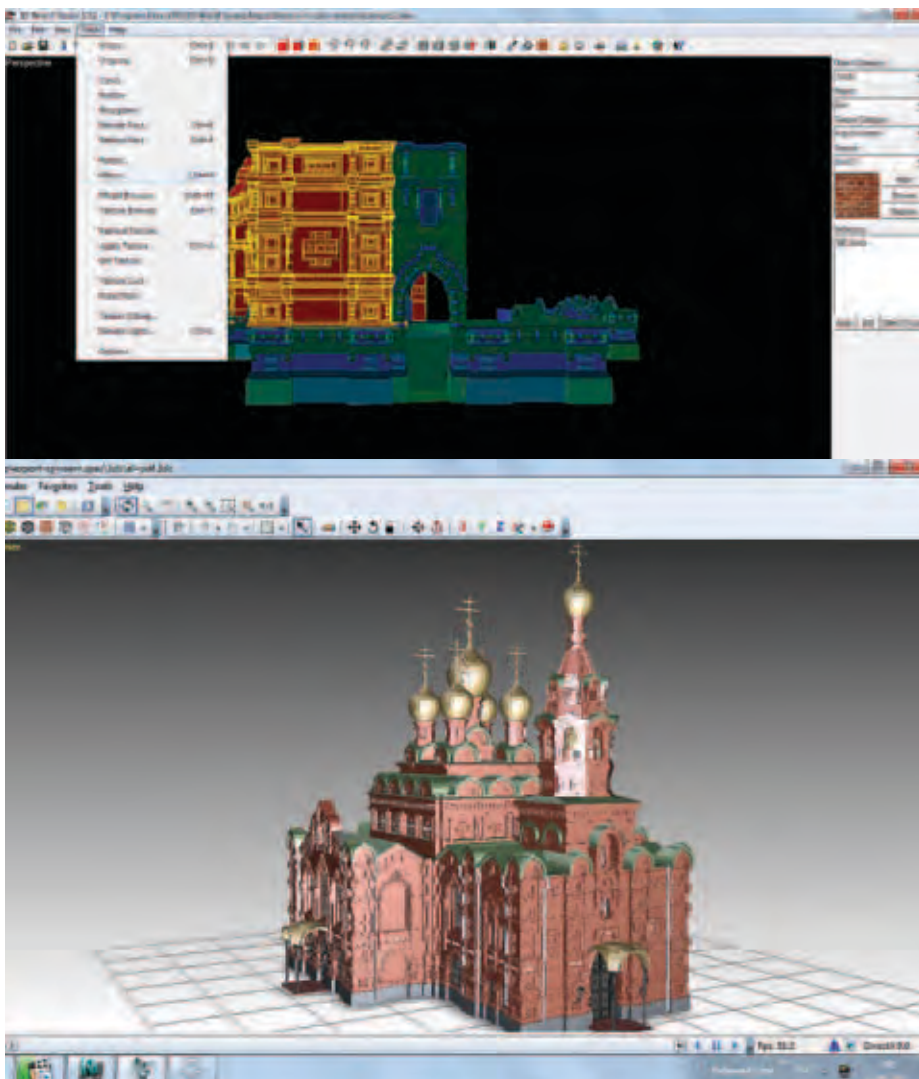


Рис. 3. Процесс отражения трехмерной модели в программе 3D World Studio.

Рис. 4. Модель храма Всемилоостивого Спаса в программе Deep Exploration.

ния модели в единое целое с целью проверки модели на ошибки в конструкции здания и корректировки материалов текстуры. Данная методика «рассечения модели» использована нами только при разработке трехмерной модели храма Всемилоштивого Спаса.

После того как все составные элементы трехмерной модели храма были интегрированы в библиотеку программы Unity3D, начался процесс сбора трехмерной модели. Чтобы собрать составные части модели в единое целое, нам потребовалось вначале разместить только одну из стен в пространстве на месте, где располагался храм, а другим элементам модели присвоить единые координаты расположения в пространстве по осям X , Y , Z .

В результате после окончания операции присвоения единых координат фрагменты собрали в единое целое и для удобства дальнейшей работы, составные части трехмерной модели храма Всемилоштивого Спаса были сгруппированы. Затем в программе Unity3D осуществляли работу по настройке материалов трехмерной модели: каждому из элементов библиотеки материалов было присвоено свойство материала: отдельно для стекла (прозрачность), железной крыши (отражение света и bumpmapping – метод в компьютерной графике для придания бо-

лее реалистичного и насыщенного вида поверхности объектов) и т.п. В конечном итоге после завершения процедуры настройки материалов группе присваивали показатель-идентификатор – «объект» и функция «collision» (столкновение), необходимая для идентификации объекта в трехмерном мире и взаимодействия с ним (рис. 5).

Поскольку часовня А.А. Смирновой сохранилась по настоящее время, отправной точкой построения трехмерной модели выступили современные замеры отдельных элементов строения и фотографии строения.

Часть архитектурных деталей часовни, которые нельзя было измерить вручную вследствие их удаленности, были измерены нами по данным фотографий в программе PhotoModeler Scanner (рис. 6). Далее по рассмотренной выше методике проводили реконструкцию трехмерной модели часовни (рис. 7).



Рис. 5. Рендер модели храма Всемилоштивого Спаса в программе Unity3D.

Верификация и электронная документация виртуальной реконструкции

Основная концепция данной разработки – построение вирту-

альной реконструкции с интеграцией ее источникового комплекса, «привязанного» к каждой трехмерной модели строений монастыря. Мы хотим повысить источниковедческую достоверность 3D-реконструкции, дать возможность каждому пользователю 3D-модели верифици-

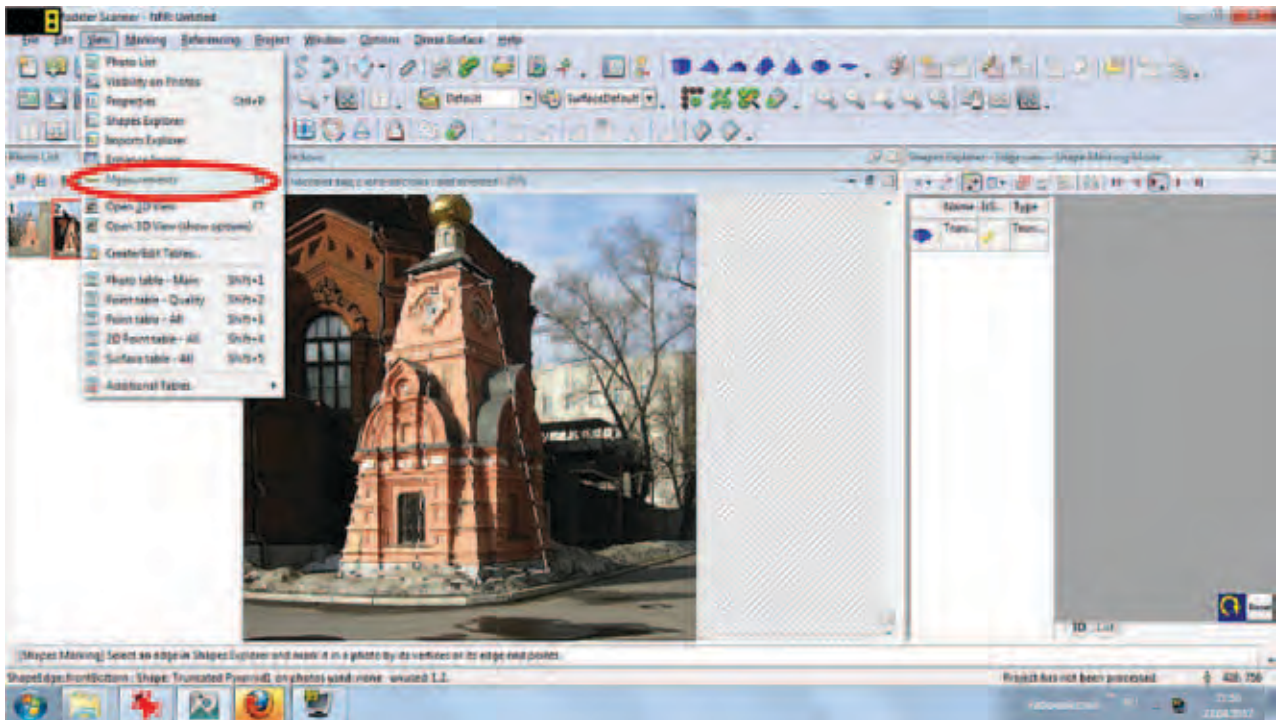


Рис. 6. Анализ фотографии в программе PhotoModeler Scanner.

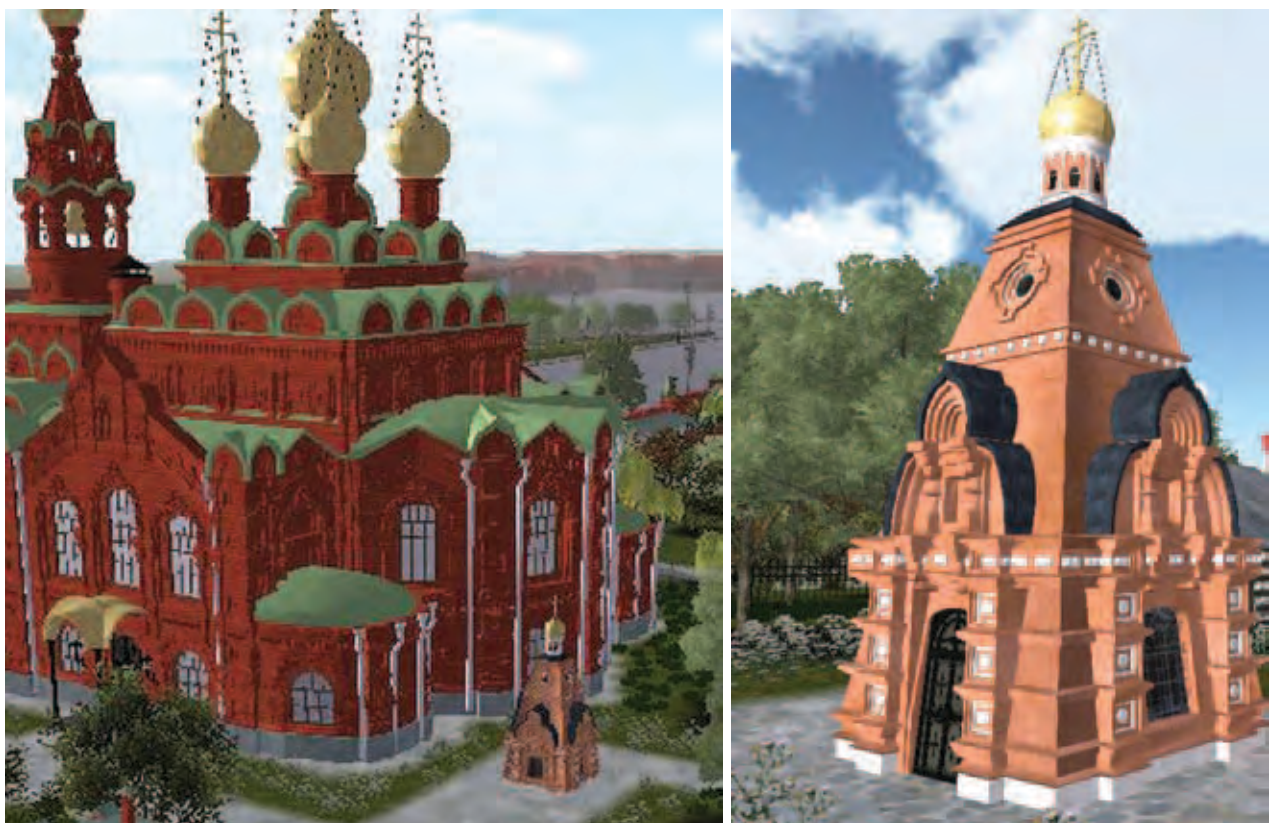


Рис. 7. Вид на часовню А.А. Смирновой в программе Unity3D.

ровать предлагаемую нами виртуальную реконструкцию, получить доступ ко всему набору источников, который авторы реконструкции использовали для построения тех или иных конкретных трехмерных моделей. Здесь возникает и новая источниковедческая задача – презентация всех источников, использовавшихся для восстановления рассматриваемого фрагмента комплекса (с соответствующей критикой источников), и технологическая: как реализовать этот подход, какими программными инструментами можно пользоваться?

С этой целью мы предлагаем методику разработки электронной документации, верификации источниковой базы виртуальной реконструкции, разработанную на базе html-страницы с возможностью публикации проекта с высокодетализированными трехмерными моделями в Интернете. Рассматриваемая технология предполагает использование нескольких рабочих окон на одной странице, она позволяет работать одновременно с источниками различных типов в разных программных средах (таких как Prezi, Zoomifyer for Flash v3.0, PDFPublisher, MapSter и др.), сопоставлять объекты трехмерного мира с соответствующими графическими источниками (например фотографиями или чертежами). На основе встроенного в окно виртуальной реконструкции окна навигации нами предлагается методика идентификации трехмерных моделей и осуществления взаимодействия пользователя с соответствующей источниковой базой.

В ходе разработки концепции виртуальной реконструкции монастыря Всех скорбящих радости информационная оболочка источниковой базы реконструкции включила в себя следующие составные элементы:

I. Источниковая база по всему монастырскому комплексу:

а) история объекта (история монастыря, календарь событий, персоналии);

б) источники с их типологией (планы монастыря, чертежи строений, описи и описания строений, фотографии);

в) этапы реконструкции.

II. Источниковая база по каждому монастырскому строению, по разделам: история и методика реконструкции, описательные источники, чертежи, планы территории монастыря, на ко-

торых отмечено данное строение, планы г. Москвы, фотографии XIX–XX вв., историография.

Учитывая накопленный опыт в области построения информационных систем виртуальных реконструкций, при выборе программного обеспечения разработки мы руководствовались принципом универсальности программной оболочки, доступностью ее освоения, кроссплатформенностью (возможностью пользователей разных операционных систем обращаться к продукту нашего проекта – Windows, MacOS, iOS, Android), возможностью создавать онлайн-проекты с высокодетализированными трехмерными моделями. В качестве программной среды разработки виртуальной онлайн-реконструкции была выбрана программа Unity3D. Предлагаемая концепция связи трехмерной среды и источниковой основана на программном скрипте одного из компонентов программы Unity3D – BootCamp [9]. Навигационное окно размещено в верхнем левом углу 3D-окна, при движении в 3D-пространстве в окне отображается план территории, где точкой отмечается местонахождение пользователя.

В ходе создания 3D-html-страницы к окну виртуальной реконструкции была подключена источниковая база. С помощью отдельного идентификационного номера в навигационном окне на плане территории обозначаются объекты реконструкции; подобный идентификационный номер с полным названием объекта расположен нами слева от 3D-окна с перечнем доступных источников по объекту (история, описательные источники, чертежи, планы и т.д.).

Для удобства работы с виртуальной реконструкцией html-страница была разделена вертикально на три окна с возможностью изменения границы рабочего окна при работе с ним (рис. 8). Рабочие окна информационной оболочки содержат следующий контент: окно виртуальной реконструкции с навигационной системой, необходимое как для ориентации в пространстве, так и для взаимосвязи пользователя с панелью объектов трехмерного мира (окно № 1); панель объектов трехмерного мира подразделяется на ряд кнопок с источниковой базой по монастырской постройке (окно № 2); окно работы с конкретным историческим источником в удобных информационных средах для онлайн-просмотра (окно № 3).

В рамках этой системы мы выстраиваем ее структуру таким образом, чтобы пользователь, перемещаясь по трехмерной реконструкции, мог видеть в одном окне вместе с 3D-моделью парал-

лельное окно со списком соответствующих источников с возможностью их просмотра и прямого сопоставления (например, если речь идет о фотографии или чертеже строения) с целью верификации просматриваемой 3D-модели.

В авторскую информационную оболочку были включены следующие программные модули, реализующие предложенный нами алгоритм:

Модуль работы с описательной документацией. Исходя из концепции параллельной работы пользователя с историческими источниками по монастырю и трехмерной моделью, потребовалось разработать наиболее удобную программную оболочку, которая не обременила бы пользователя необходимостью переключаться между этими двумя окнами и облегчила процесс поиска по источнику, печати необходимых страниц и т.п. Для достижения поставленной цели нами были выбраны две аналогичные программы: бесплатный сервис Issuu и программа FlippingBook PDF Publisher [10]. Данные программы предназначены для построения онлайн-электронных каталогов с удобным интерфейсом и возможностью выстраивания системы доступа к документу, если он обладает копирайтом и не может быть распечатан, и стандартными функциями: просмотр, поиск, печать и т.п. Отличительная особенность данного рода про-

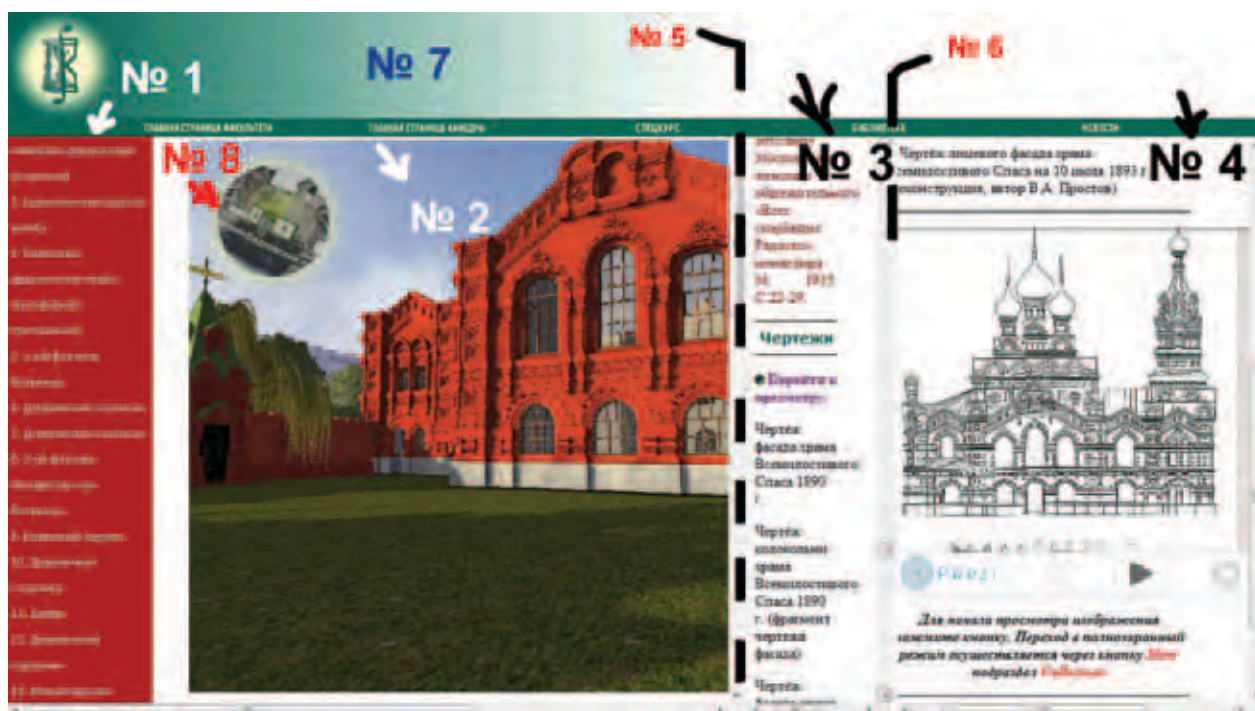


Рис. 8. Html-страница с трехмерным контентом виртуальной реконструкцией монастыря: № 1 – раскрывающийся список с перечнем строений; № 2 – окно виртуальной реконструкции; № 3 – страница истории строения с перечнем источников; № 4 – окно работы с историческим источником; № 5, 6 – подвижные панели № 7 – верхняя панель; № 8 – окно навигации в трехмерном мире.

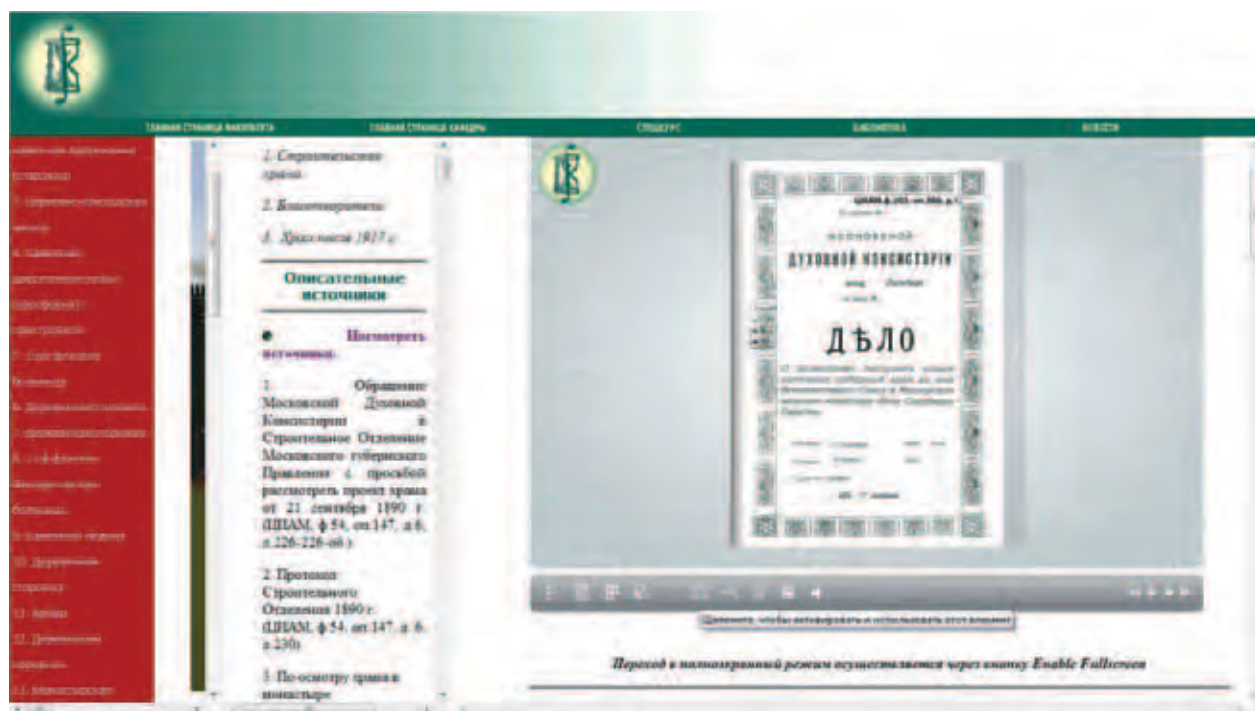


Рис. 9. Модуль работы с описательной документацией на базе технологий FlippingBook PDF Publisher.

грамм заключается в том, что они позволяют встраивать в html-страничку электронный полнотекстовый документ, что делает возможным работу пользователя одновременно в одном окне с трехмерной моделью и с историческим документом. Используемые нами программы имеют более известные аналоги, в частности сервис Google documents, однако, на наш взгляд, программа FlippingBook PDF Publisher более предпочтительна – за счет многофункциональных настроек и дизайна. На основе программы FlippingBook PDF Publisher большая часть отснятых нами архивных фондов была переведена в цифровой формат (рис. 9).

Модуль работы с чертежами, планами, фотографиями. Данный модуль был разработан на основе технологий компании Prezi, предоставляющей бесплатный 100-мегабайтный хостинг для пользователей, публикующих в интернете фотографии, чертежи, видеоматериалы, а также разрабатывающих электронные онлайн-презентации. Особенность данной программы заключается в обеспечении работы с историческим источником в полном экране с возможностью увеличения масштаба объекта и рассмотрения отдельных его фрагментов в мельчайших подробностях.

Интерактивная флеш-карта с привязкой базы данных по монастырским постройкам. В некоторых случаях работа с историческими источниками в трехмерном окне или со списком построек является неудобной. Например, в случае, когда пользователь работает с планом территории виртуальной реконструкции 1909 г. в окне № 4 в оболочке Prezi в полноэкранный режиме, то ему приходится периодически переключаться между окнами (обращаться к окну списка построек № 2 за описательной информацией и через него открывать список источников в окне № 3, затем, чтобы работать с другими описательными источниками, связанными с просматриваемым планом, приходится закрывать окно программы Prezi). Иными словами, у пользователя не существует возможности иметь перед глазами план территории и одновременно работать с источниками по интересующим

его постройкам. Для того чтобы осуществлять работу с картой и описательными источниками в одном окне, в окно № 2 ниже панели с трехмерным контентом мы расположили окно с интерактивной картой территории монастыря, созданной на базе технологий программы iMapBuilder (рис.10 и 11).

Первоначально в программу iMapBuilder был интегрирован план реконструкции территории монастыря, далее поверх обозначенных построек посредством раздела «Define Custom Region» точками обозначали границы интерактивного маркера, к которому осуществляли привязку странички объекта с изображением и ссылкой на источники. Строения стали не единственными маркерами, обозначенными на карте. На

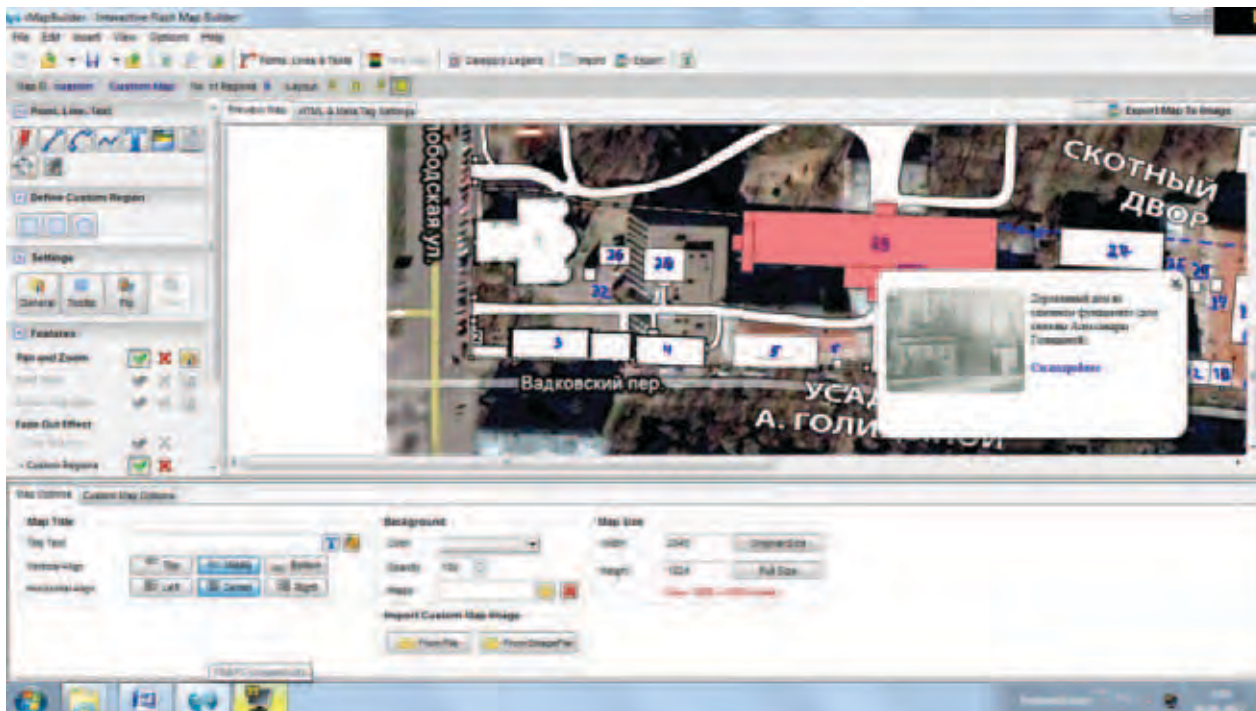


Рис. 10. Рабочее окно программы iMapBuilder.

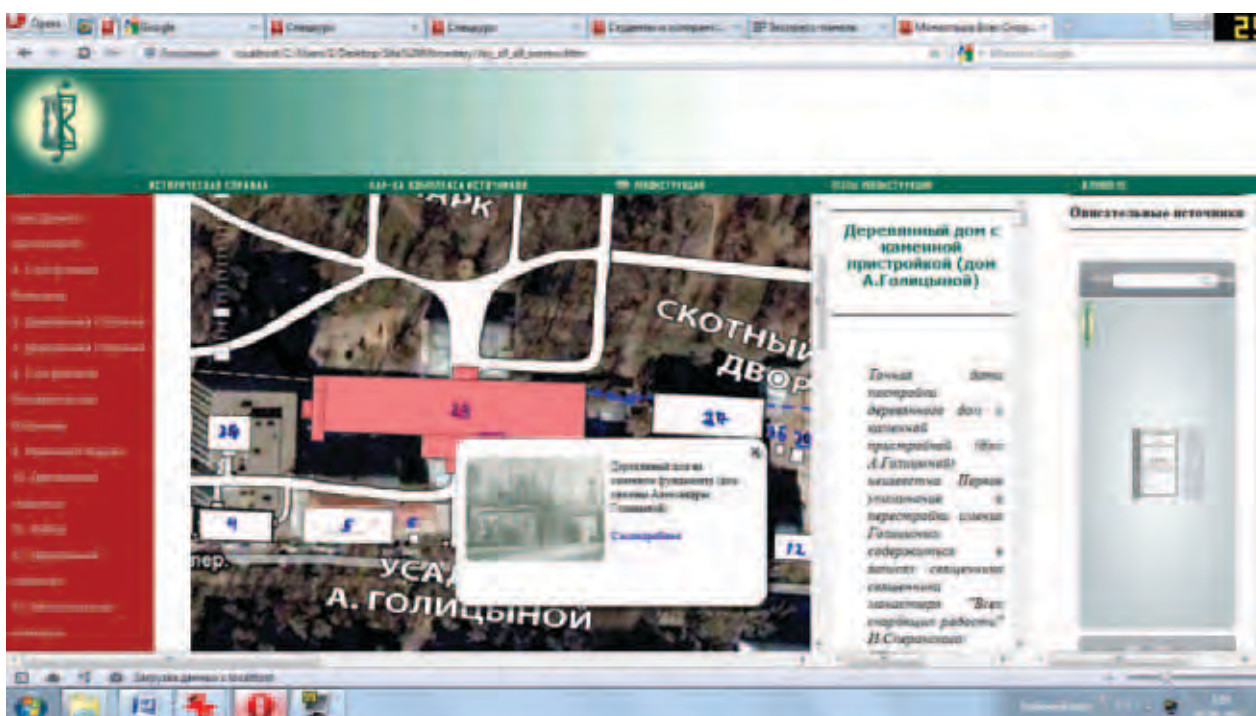


Рис. 11. Модуль интерактивной флеш карты на базе технологий iMapBuilder.

плане были обозначены также точки места съемок ряда фотографий с направлением угла обзора камеры.

Модуль анализа трехмерных моделей. Под данным модулем мы понимаем программный компонент, позволяющий анализировать размеры трехмерных моделей, просматриваемых в окне с трехмерным контентом (окно № 2). Имея данные чертежей и подробное описание процесса реконструкции строения, пользователь получает возможность не просто ознакомиться с моделью (что возможно в окне № 2), но и самостоятельно иметь доступ к анализу конкретной трехмерной модели, с которой ему дают ознакомиться в виртуальной реконструкции. Для достижения поставленной цели мы использовали программу Adobe Acrobat X Pro. Прежде чем попасть в программу Adobe Acrobat X Pro, трехмерная модель проходит цепочку конвертации из формата программы 3D World Studio «.3dw» в формат DicerX «.x». В программе Deep Exploration файлы конвертируются в формат программы AutoCad Design Web Format «.dwf» и только уже затем – из формата «.dwf» в формат, понимаемый программой Adobe Acrobat X Pro – Universal 3D export «.u3d». После данной процедуры трехмерная модель импортируется в программу Adobe

Acrobat X Pro, затем настраивается для дальнейшей работы.

Следующим этапом работы стало нанесение линий обмеров здания по нескольким срезам по осям X, Y и Z. Результат сохраняется в формате .pdf (рис. 12). Отметим, что самостоятельный обмер трехмерной модели возможен пока только в программе Adobe Acrobat X Pro.

Обычный пользователь, скорее всего, будет просматривать модель через программу Adobe Reader, в которой пока нет возможностей самостоятельного обмера трехмерной модели. Тем не менее пользователь сможет ознакомиться с проекциями здания по осям X, Y и Z и размерами отдельных его элементов, если они будут представлены исследователем в программе Adobe Acrobat X Pro в виде точки «Measurement View». Также в программе Adobe Reader пользователь имеет возможность распечатать чертеж среза модели (если он был сде-

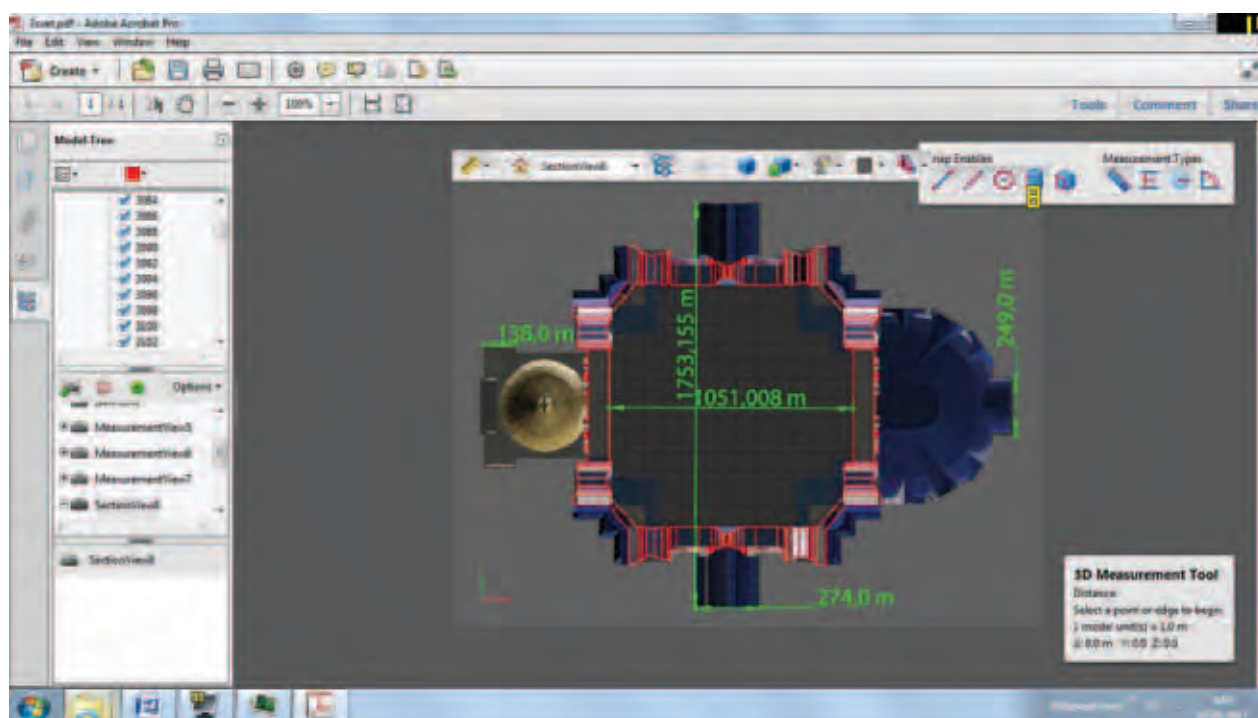


Рис. 12. Замер параметров храма Трех Святителей по срезу фундамента.

лан исследователем в программе Adobe Acrobat X Pro) для сопоставления облика трехмерной модели с реальным чертежом. Пока что методика построения модуля анализа трехмерной модели через Adobe Acrobat X Pro является единственной доступной технологией, использовать которую специалисту-гуманитарию можно без вникания во все тонкости программирования.

В процессе восстановления внешнего облика монастырских строений при анализе архивных источников выявилась частичная неполнота источниковой базы по отдельным строениям, но в разработанной информационной оболочке она «прозрачна», пользователю становится понятно, почему исследователь в ходе анализа решил синтезировать источ-

ники соответствующим образом, отраженным в трехмерной модели строения.

В результате источниковая база виртуальной реконструкции используется не только в целях репрезентации, но и приобретает новую функцию, обеспечивая эффективным инструментом работу пользователя, получающего онлайн-доступ к исходным данным построенной 3D-модели. Как всякое научное исследование создание виртуальной реконструкции должно отвечать важному критерию – возможности научной верификации результата, которая достигается в рассматриваемых нами задачах только при построении открытой информационной среды.

Построенная компьютерная реконструкция эволюции монастырского комплекса Всех скорбящих радости представлена в открытом доступе на сайте исторического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (<http://hist.msu.ru/3D/monastery-auth-1.htm>), позволяющем пользователю ознакомиться с источниковой базой исследования и его результатами.

Литература

1. **С. Биттнер**
Антропологический форум, 2010, №12, 26.
2. **P.B. Lourenço, F. Peña, M. Amado**
A Document Management System for the Conservation of Cultural Heritage Buildings, 2011, 32 pp. (http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/14537/1/Lourenco_et_al%28IJAHP32-07%29.pdf).
3. **I. Besora, P. Brunet, M. Callieri, A. Chica, M. Corsini, M. Dellepiane, D. Morales, J. Moyes, G. Ranzuglia, R. Scopigno**
В Proc. 3DPVT08: Fourth International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (USA, GA, Atlanta, 18-20 June, 2008), USA, GA, Atlanta, 2008, pp. 89–96.
4. **T. Sharpe, I. Pickering**
The St Avit Project, 2011. (<http://www.chart.ac.uk/chart1999/papers/sharpe-pickering.html>).
5. **C. Père, J. Landrieuet, J. Rollier-Hanselmann**
В Actes du Colloque Virtual Retrospect 2009 (France, Pessac, 18-20 Novembre, 2009), Coll. Archéovision, Vol. 4, Eds R. Vergnieux, C. Delvoie, Bordeaux, Editions Ausonius, 2010, pp. 151–159.
6. **F. Traser**
Diss. Master Thesis in Architecture Sci., University of Cincinnati, USA, OH, Cincinnati, 2005, 118 pp. (https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=ucin1123768098&disposition=inline).
7. **Z. Duran, G. Toz**
В Proc. The ICOMOS & ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage XIXth CIPA International Symposium (Turkey, Antalya, 30 September – 4 October 2003), Turkey, Antalya, 2003, pp. 523–528. (<http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/antalya/138.pdf>).
8. *Историко-культурное наследие города Енисейска*. (<http://www.yeniseisk-heritage.ru>).
9. *Unity Technologies*. (<http://unity3d.com/ru/showcase/live-demos>).
10. *Flipping Book*. (<https://flippingbook.com/ru/presentation-examples>).

Исследование сознания естественнонаучными методами: возможная роль волновой интеграции *

Б.М. Величковский, М.В. Ковальчук, В.Л. Ушаков, М.Г. Шараев

Понимание функционирования сознания является фундаментальной научной задачей, центральной для социо-гуманитарных наук и одновременно одной из главных нерешенных проблем современного естествознания. Благодаря применению новых физических методов нейровизуализации удалось значительно уточнить знания об организации лежащих в основе частных когнитивных функций мозговых процессов. Вместе с тем изучение отдельных нейронов и попытки выделения их объединений различной степени общности не привело пока к заметному улучшению понимания интегративных функций мозга, таких как сознание, внимание и интеллект. Об этом говорят, скорее, скромные результаты продолжающихся около десятилетия работ по моделированию мозга в рамках ряда международных мегапроектов. Причиной такого положения дел может быть недостаточный учет роли волновых процессов в интеграции пространственно распределенных «модулей» когнитивной обработки. Изучению и моделированию таких процессов и посвящены наши исследования в рамках ряда проектов РФФИ. Наряду с прогрессом в понимании базовых мозговых механизмов сознания и интенциональности можно предположить, что одним из результатов такого подхода станет радикальное улучшение эффективности создаваемых в настоящее время технологий интерфейсов мозг–компьютер и глаз–мозг–компьютер.

Ключевые слова: сознание, намерение, мозг, движения глаз, магнитно-резонансная томография, нейросеть по умолчанию, динамическое казуальное моделирование.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 13-04-01835, 15-29-01344 и 16-34-00558), а также РНФ (проект № 14-28-00234).

В естественных науках сознание имеет репутацию одной из «мировых загадок». Электрофизиолог Э. Дюбуа-Реймон в докладе «О границах естествознания» (1873 г.) отнес эту проблему к категории «Не знаем и не узнаем» (*Ignorabimus et ignorabimus*). Многие биологи и физиологи исключали его из научной картины мира в качестве эпифеномена. Даже в самой психологии сознание, а также все когнитивные функции,

кроме памяти и научения, были на десятилетия исключены из рассмотрения бихевиоризмом, тогда как психоанализ, сохранив представление об осознающем себя «Я», свел его роль к поиску компромисса между бессознательными биологическими потребностями и социальными запретами. Сознание продолжает обсуждаться в ряде физических и биофизических гипотез, некоторые из которых связывают его природу с квантовыми эффектами, возникающими в молекулярных структурах нейронов головного мозга [1]. Эти гипотезы, однако, до сих пор не получили экспериментального подтверждения.

Основная трудность естественнонаучных исследований сознания состоит в распределенном и многоуровневом характере его возможных механизмов. Длительное время единственным источником объективных сведений о механизмах сознания были данные наблюдений за па-



ВЕЛИЧКОВСКИЙ
Борис Митрофанович
член-корреспондент РАН,
профессор,
НИЦ «Курчатовский институт»



КОВАЛЬЧУК
Михаил Валентинович
член-корреспондент РАН,
профессор,
президент НИЦ «Курчатовский
институт»



УШАКОВ
Вадим Леонидович
НИЦ «Курчатовский институт»



ШАРАЕВ
Максим Геннадьевич
НИЦ «Курчатовский институт»

циентами с локальными поражениями и заболеваниями мозга. Так, энергетическая поддержка сознательного функционирования обеспечивается преимущественно субкортикальными структурами. Их поражения ведут к полной утрате сознания, что позволило У. Пенфилду и Г. Джасперу (1958 г.) выдвинуть «центроэнцефалическую теорию», согласно которой «субстратом» сознания являются субкортикальные области мозга. Другие авторы выделяли иные, как правило, кортикальные структуры мозга в качестве подобного субстрата.

С развитием электроэнцефалографии (ЭЭГ), а в конце XX в. и более чувствительных подходов на основе эффекта магнитного резонанса, стали возможны собственно экспериментальные подходы. Стали появляться также методы анализа молекулярных механизмов высшей нервной деятельности, в том числе их геномные и постгеномные компоненты. Хотя возможность установления коммуникативного, прежде всего речевого, контакта с пациентом до сих пор остается самым быстрым и надежным тестом нарушений сознания, в клинической практике возрастает значение объективных методов, основанных на математических моделях и физико-химических эффектах. Примером служит реализация теории интегративной информации [2], в которой сознание рассматривается как «единая, субъективно самоощущаемая субстанция». Данный взгляд на сознание был выражен с помощью коэффициента, оценивающего интегративную сложность ответов мозга на транскраниальную магнитную стимуляцию. Использование этого коэффициента позволило различать пациентов, находящихся в состояниях ясного сознания, сна с движениями глаз, сна без движений глаз, наркоза и комы [3].

Целый ряд критериев разделения сознательных и бессознательных процессов разработан в поведенческих и психофизических исследованиях когнитивных процессов. Так, при сравнении особенностей памяти в условиях явного (эксплицитного) тестирования, когда задача припоминания известна испытуемому, и при неясных, имплицитных тестах, когда факт тестирования памяти неизвестен, установлена широкая интеграция всех возможных источников информации, способствующих припо-

минанию, в первом случае, и узко локальные эффекты адаптации («прайминга») – во втором [4]. Таким образом, осознание характера задачи способствует гибкой интеграции обычно относительно автономных модулей нейрокognитивной обработки, таких как функциональные блоки обработки данных сенсорных модальностей, речевых признаков, семантики и прагматики ситуации.

Интегральные ритмы мозга и феномен бегущей волны

Дополнением к чисто структурным описаниям мозговых механизмов сознания служат их исследования на базе волновых электромагнитных процессов. В одной из ранних работ [5] было показано, что при изменении уровня когнитивной обработки предъявляемого материала испытуемым – от перцептивного к семантическому и далее метакогнитивному (self-referential) – области когерентных электромагнитных колебаний сдвигаются от задних к передним отделам коры, но одновременно меняется также и базовый диапазон частот колебаний: высокочастотный гамма-ритм (40–120 Гц) сменяется тета-ритмом (4–8 Гц). В новых исследованиях (например в работе [6]) получены данные о возможной связи ритмов в гамма-диапазоне с перцептивным осознанием ситуации. Префронтальный тета-ритм, напротив, начинает выступать как фактор интеграции высших когнитивных механизмов, локализованных преимущественно в передних, лобных отделах коры. Функция последних состоит прежде всего в сознательном контроле, т.е.

торможении привычных, но не адекватных социальной ситуации действий [7].

Большинство электрофизиологических работ негласно допускает пространственную стационарность мозговых источников электрических сигналов (электроэнцефалограмма, ЭЭГ) и магнитных полей (магнитоэнцефалограмма, МЭГ). В рамках гипотезы стационарности особенно сложно объяснить известный в течение длительного времени [8] феномен бегущих волн, наблюдаемых в картах распределения электрических потенциалов и напряженности магнитного поля на поверхности головы. Гипотеза стационарности также затрудняет понимание нейрофизиологических механизмов в высокой степени динамичных когнитивных процессов, наиболее загадочным из которых и одновременно наиболее важным является сознание. В рамках наших исследований изучаются волновые характеристики не только процессов интеграции внутри нейросетей головного мозга человека, но и процессы синхронизацию работы таких сетей между собой. С этой точки зрения может представлять значительный интерес феномен возникновения отраженных волн на границах между различными анатомическими областями коры головного мозга [9]. Возникающие при этом эффекты по форме аналогичны эффектам стоячей волны в материаловедении [10, 11].

Бегущая волна – это волновое движение, при котором поверхность равных фаз (фазовые волновые фронты) перемещается с конечной скоростью, постоянной в случае однородных сред. Бе-

гущие волны наблюдаются во многих физических, химических и биологических процессах, в частности в реакционно-диффузных системах, процессах изменения численности популяций животных, а также в распределенной динамике активности мозга, которая может быть выявлена с помощью методов ЭЭГ и МЭГ. На *рисунке 1* показано идеализированное представление бегущей волны с частотой ω (*a, b*) и реконструированное на базе экспериментальных данных пространство волны активации по поверхности зрительной коры человека (*c*).

В последние годы появляется все больше данных о том, что волнообразные паттерны распространения активности играют существенную роль не только при некоторых патологических нарушениях, но и в нормальном функционировании мозговых структур. Так, наметилась связь одной из форм тета-ритма, гиппокампального тета, с бегущими волнами [12]. Появляются также первые данные, позволяющие понять характер влияния ритмически организованных волновых процессов на молекулярные механизмы работы и формирование мозга человека [13]. Интересно, что динамическая мозговая активность в форме бегущей волны может быть зарегистрирована в мозге птиц, которые в отличие от млекопитающих лишены коры с характерной слоистой организацией, но, несомненно, способны демонстрировать впечатляющие интеллектуальные достижения [14]. К их числу относится успешное решение одного из тестов на самосознание – узнавание себя в зеркале. Ранее это считалось чисто человеческим достижением, возможным только к концу первого года жизни ребенка, у которого оно коррелирует с развитием эмпатии по отношению к другим людям [15].

Медленные и сверхмедленные колебания активности

Субъективное впечатление свободы выбора, лежащее в основе произвольных действий, в настоящее время изучено в значительно меньшей степени, чем другой аспект сознания – феноменальная ясность воспринимаемых содержаний [16]. Между тем именно ранние признаки намеренных, а не спонтанных дей-

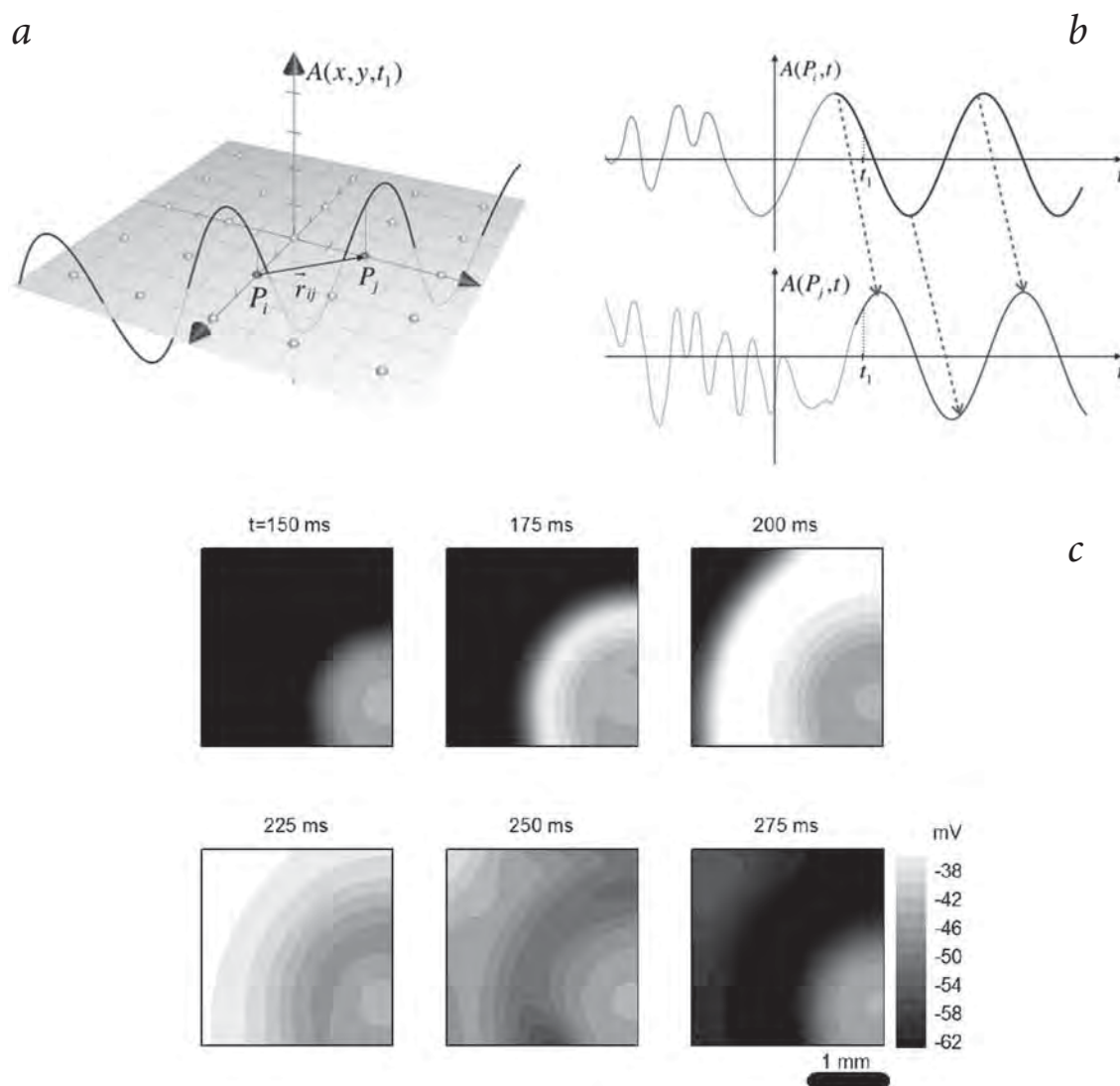


Рис. 1. Иллюстрация понятия бегущей волны (а, б) и распространение такой волны со скоростью 0.2 м/с в ответ на предъявление оптического сигнала по поверхности зрительной коры человека (с). По материалам проекта РФФИ № 15-29-01344.

ствий чрезвычайно важны для реализации человеко-машинных интерфейсов класса Глаз–мозг–компьютер (ИГМК). Все способы управления с помощью взгляда так или иначе зависят от решения «проблемы прикосновения Мидаса»: подобно царю Мидасу из греческого мифа, который с фатальными для себя последствиями превращал в золото все, к чему прикасался, возможность осуществлять изменения во внешнем мире с помощью взгляда слишком хороша, чтобы быть практически полезной: взгляд нередко активирует управление даже тогда, когда пользователь не собирается отдавать какие-либо команды. Это связано с тем, что движения глаз в естественных условиях используются главным образом для спонтанного обследования окружения. Их перемещения (порядка 200 000 раз в течение

одного дня) и соответствующие фиксации чаще всего произвольны. Пользователю системы, регистрирующей остановку взгляда на виртуальных «кнопках» графического интерфейса, трудно удержаться от спонтанных фиксаций на этих кнопках, когда он переключается от управления на рассматривание окружения или начинает что-то обдумывать.

Для успешного применения надо найти такой показатель произвольно контролируемых фиксаций, который оценивал бы возможность их использования для управления как можно рань-

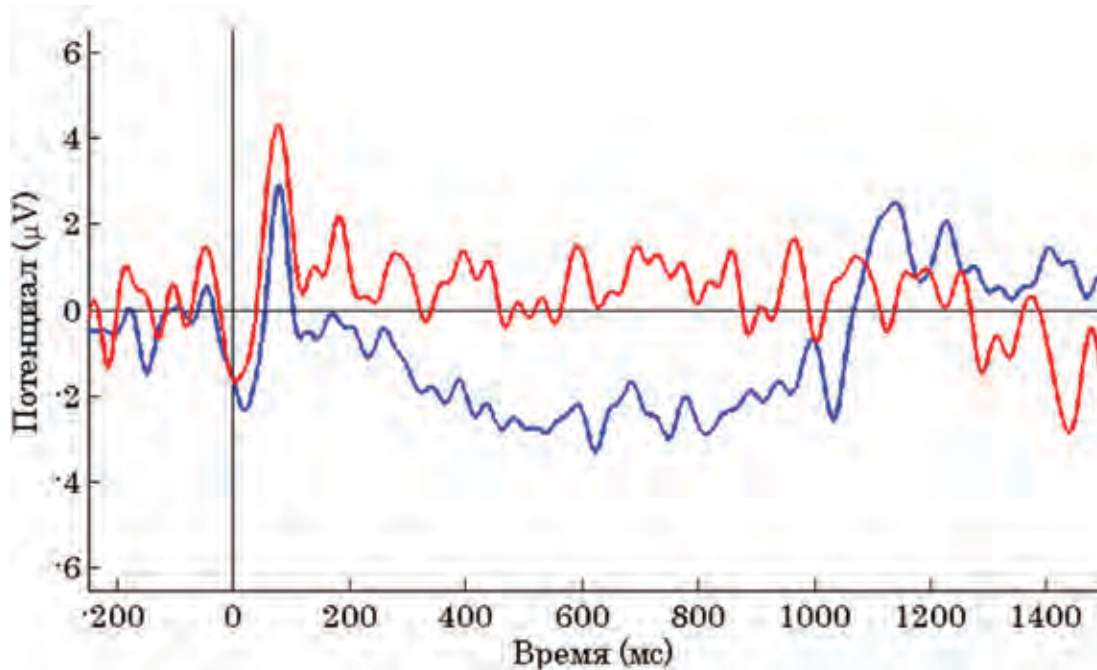


Рис. 2. Медленные изменения электрических потенциалов мозга при спонтанных (красным цветом) и произвольных (синим) зрительных фиксациях.

ше после начала фиксации, до следующей саккады. Результаты экспериментов, проведенных в Курчатовском институте, свидетельствуют о том, что такой независимый показатель действительно существует. Графики на рисунке 2 представляют собой усредненные по группе испытуемых потенциалы мозга, связанные со спонтанными и произвольными («управляющими») зрительными фиксациями. Как легко видеть, в случае произвольных фиксаций уже через 200–250 мс после начала фиксации наблюдается отчетливый негативный сдвиг потенциалов. Этот сдвиг хорошо выражен при регистрации ЭЭГ в затылочно-теменных областях у всех испытуемых [17].

Похожие медленные сдвиги электрических потенциалов в негативную область были описаны еще Греем Уолтером [18], причем им и последующими авторами было показано, что такие сдвиги связаны с ожиданием стимула (отсюда и название *Expectancy wave*,

E-wave). Если эту интерпретацию распространить на специальный случай зрительных фиксаций в ИГМК, то можно получить новый критерий произвольности. Сознательно инициированное (произвольное) действие отличается от спонтанного тем, что оно предполагает предвосхищение целевого результата и ожидание соответствующей обратной связи. Это ожидание обратной связи и приводит, судя по всему, к обнаруженному в записях ЭЭГ эффекту, что дает возможность различать произвольные и спонтанные зрительные фиксации задолго до достижения принятого в поведенческих работах по когнитивной эргономике условного порога 500 мс.

Перспективным направлением исследований становится в последнее время анализ сверхмедленных флуктуаций активности мозга в диапазоне 0.007–0.1 Гц, выявляемых в результате измерения BOLD (Blood oxygenation level dependent – показатель, зависящий от уровня оксигенации крови) сигнала, на регистрации которого основан распространенный в нейрокогнитивных исследованиях метод функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). Несмотря на свою популярность этот метод имеет два существенных недостатка: 1) низкая временная разрешающая способность, связанная с медленным развертыванием гемодинамического ответа на когнитивную на-

грузку; 2) корреляционный характер получаемых данных.

Столь медленные изменения характерны скорее для динамики состояний, а не, как правило, значительно более быстрых когнитивных процессов. Не случайно поэтому, что основные результаты в этой области получены сегодня при изучении базового для сознания состояния бодрствующего покоя. В отличие от распространенного мнения, что покой – это снижение всех аспектов мозговой активности, в последнее время выявлена группа взаимосвязанных структур головного мозга человека, увеличивающая параметры активности при переходе от решения какой-либо задачи к состоянию покоя [19]. Эту нейросеть называют «дефолтной» (Default Mode Network, DMN), или «сетью по умолчанию». Основные ее узлы – медиальная префронтальная кора (mPFC), задняя часть поясной извилины (PCC) и нижние отделы теменной коры (LIPC/RIPC) обоих полушарий. Интересно, что и клинические наблюдения, и данные отдельных экспериментов заставляют предположить, что именно эти структуры тесно связаны с интроспекцией и другими аспектами рефлексивного сознания.

Дефолтная сеть стала одной из первых крупномасштабных нейросетей мозга человека, обнаруженных на основе анализа флуктуаций

BOLD-сигнала. Иногда такие исследования дополняются анализом ЭЭГ. В частности, при изучении активности мозга, связанной с воображением и припоминанием сложных зрительных сцен, было установлено существование семи когерентно флуктуирующих крупномасштабных нейросетей мозга [20]. Эти нейросети показаны на рисунке 3. Они включают, наряду с DMN и рядом других нейросетей, также две различные нейросети в зрительных областях мозга: центральную (в смысле представленности фовеального зрения) и периферическую. Интересно, что воображение значимо меняет активность сети периферического («сумеречного») зрения, но оставляет неизменной работу центральной нейросети, обеспечивающей функции ясного восприятия. Подобное расщепление зрительной системы человека на две структурно и функционально различные подсистемы допущено ранее в нейропсихологии

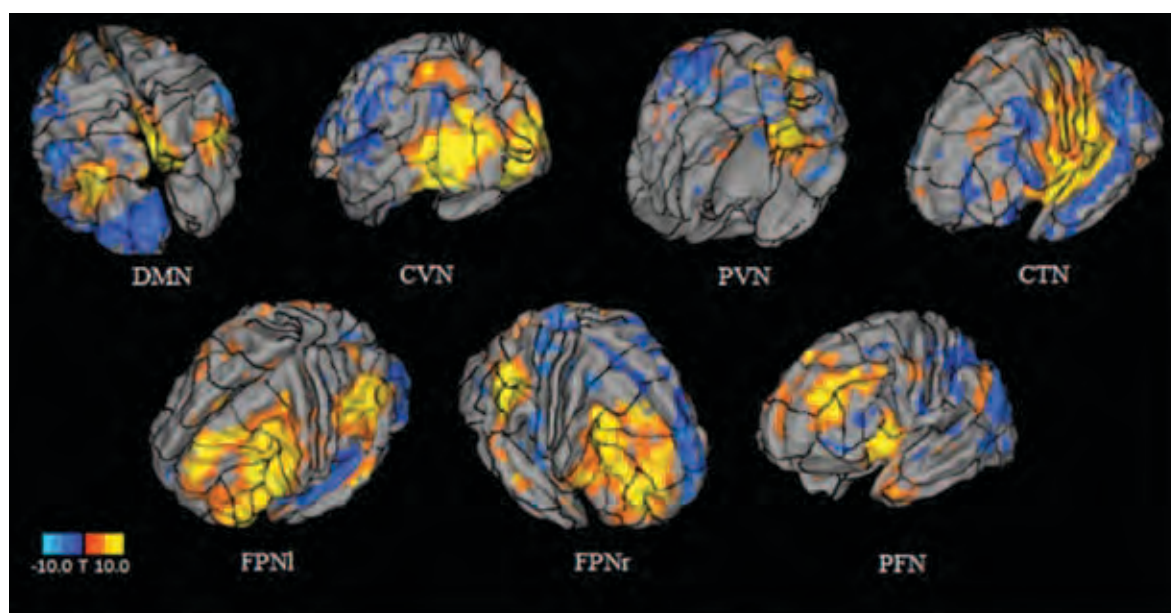


Рис. 3. Крупномасштабные нейросети мозга человека по результатам исследования воображения и припоминания сложных зрительных сцен: DMN – сеть по умолчанию; CVN – центральная зрительная сеть; PVN – периферическая зрительная сеть; CTN – центральная височная сеть; FPNl и FPNr – лобно-теменные сети соответственно левого и правого полушарий; PFN – префронтальная сеть.

и исследованиях движений глаз человека [21].

Взаимодействия внутри и между нейросетями мозга

Реализация национальных и международных мегапроектов по симуляции мозга невозможна без детального понимания механизмов взаимодействия нейронных структур при различных

состояниях сознания. Как отмечалось, доминирующие в когнитивных нейронауках исследования опираются на такие статистические зависимости между активностью различных областей, как кросс-корреляция и когерентность. В качестве корреляционных показателей они выявляют признаки массивных взаимодействий отдельных регионов головного мозга между собой. Обнаружено, что они наблюдаются даже в состоянии покоя. Так, на *рисунке 4* показаны функциональные связи 132 нейроанатомических структур по данным фМРТ в подобном состоянии.



Рис. 4. Мозг никогда не остается в покое: корреляционные связи активности структур головного мозга человека в базовом состоянии сознания – спокойном бодрствовании. Сила связей обозначена цветом; положительные связи показаны розовым цветом, отрицательные – синим.

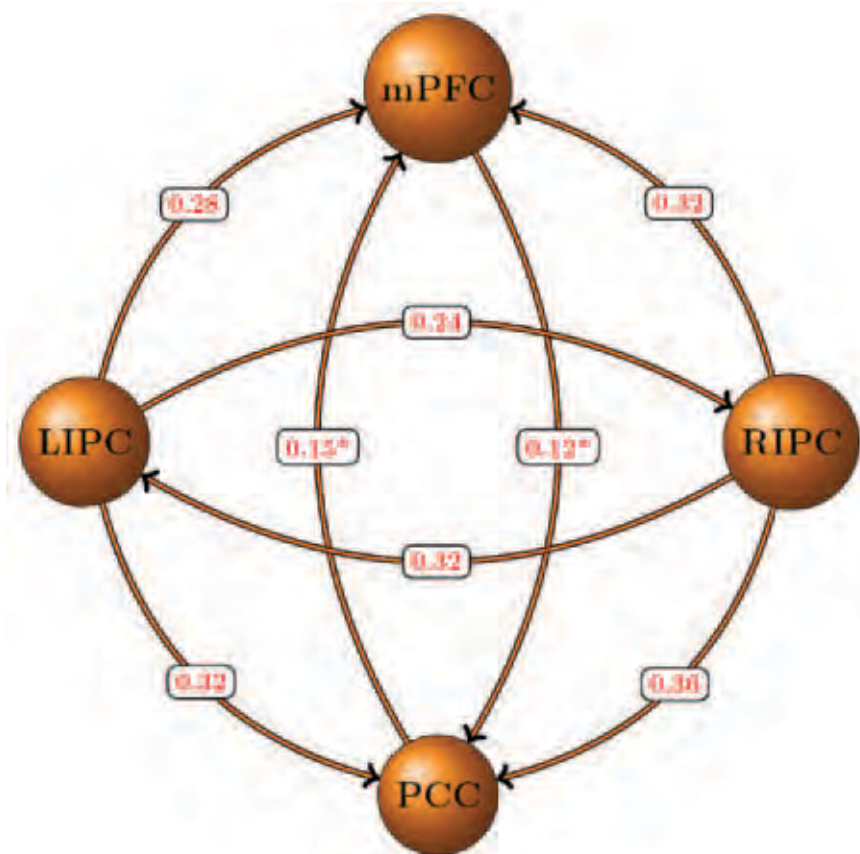


Рис. 5. Эффективные связи внутри сети по умолчанию мозга человека (состояние бодрствующего покоя). Показаны значимые ($p < 0.05$) причинно-следственные связи и их параметры, имеющие размерность 1/с, или Гц. Параметры показывают, насколько сильно влияние одной области мозга на другую. Знак «*» показывает, что связи теряют значимость после коррекции Бонферрони.

Проблема, однако, состоит в том, что сами по себе корреляционные зависимости не несут сведений о причинно-следственных взаимовлияниях тех или иных структур. Поэтому в последние годы ведутся поиски методов для выявления причинно-следственных связей внутри и между нейросетями. Современным подходом для оценки таких связей является «динамическое каузальное моделирование» (Dynamic Causal Modeling, DCM). В его основе лежит верифицированная в инвазивных исследованиях на животных модель взаимодействия так называемых скрытых состояний мозговых структур [22]. Динамику скрытых состояний можно наблюдать по косвенным параметрам, таким как электрические потенциалы и магнитные поля на скальпе (ЭЭГ/МЭГ) или изменения метаболизма кислорода (фМРТ). Связывает скрытые и наблюдаемые состояния математическая функция картирования (mapping). Далее этот

подход начинает напоминать методы теоретической физики, а не физиологии или нейропсихологии. От классического биологического картирования он отличается тем, что для его применения необходимо изначально построить все потенциально возможные модели нейросетевых взаимодействий. Получив экспериментальные данные, отражающие мозговую активность лишь косвенно, становится возможным восстановить скрытые процессы, породившие тот или иной сигнал, на основе выбора из множества моделей наилучшей по величине ее правдоподобия модели.

С помощью модифицированного варианта метода DCM нами впервые получен стабильный во времени паттерн эффективной коннективности ключевых областей нейросети по умолчанию, активной у человека в состоянии покоя [23]. Смоделировав эту волновую активность на сверхнизких частотах, мы показали способы эффективного взаимодействия областей DMN между собой. Найденные взаимосвязи показаны на рисунке 5. Учитывая силу и направление эффективных связей, можно сделать вывод об иницирующей роли билатеральных структур нижней теменной коры LIPC/RIPC в функционировании нейросети по умолчанию. Согласно полученным результатам области медиальной префронтальной коры (mPFC) и задней поясной извилины (PCC) в свою очередь являются важными интеграторами информации (так называемыми хабами), отвечающими за обработку информации из внешнего мира, а также за коммуникацию

с другими макромасштабными нейросетями в мозге.

Совсем недавно нами приняты усилия по расширению данного подхода на новые области, относящиеся к другим крупномасштабным сетям мозга. Вычислительные сложности моделирования эффективного взаимодействия структур мозга обусловили тот факт, что до сих пор ни в одной из работ не анализировалось взаимодействие более чем четырех структур одновременно. Добавив в наше исследование структуры левого и правого гиппокампов, мы преодолели это ограничение и смогли определить зависимость состояния покоя не только от информации из внешнего окружения, но и от субъективного опыта, хранящегося в долговременной памяти человека. Обнадёживающим результатом такого анализа является то, что добавление новых областей практически не меняет характер уже выявленных ранее отношений внутри подмножества центров нейросети по умолчанию. Это позволяет надеяться на возможность последовательного расширения списка изученных с точки зрения их взаимодействия областей мозга. Такое расширение фронта исследований мы планируем осуществить в различных экспериментальных условиях и при разных состояниях сознания испытуемых, не ограничиваясь одним лишь базовым для сознания состоянием бодрствующего покоя.

Заключение

Волновая интеграция процессов и состояний как основа функционирования сознания представляет собой на сегодняшний день гипотезу, которая еще должна пройти экспериментальную проверку на ее соответствие поведенческим и нейропсихологическим данным. Будущее естественнонаучное объяснение сознания неизбежно окажется более масштабным и мультидисциплинарным, чем фрагментарное изображение одного из подходов в рамках данной статьи. Вместе с тем многие факты свидетельствуют о перспективности волнового подхода. Ритмические волны активации способны обеспечивать сложные процессы обработки информации не только на базе структур коры, но и включать в обработку субкортикальные отделы мозга, что необходимо для планирования моторных компонентов действия и эмоционального подкрепления результата. Особенно интересна связь волновой динамики с молекулярными изменениями, ведущими к накоплению опыта и формированию новых проводящих путей [13]. Существенны и практические перспективы изучения мозговых механизмов сознания и произвольного контроля. Речь идет не только о следующем поколении нейроинтерфейсов, обеспечивающем более успешное, чем в настоящее время, взаимодействие человека с техническими устройствами. Понимание механизмов сознания и самоконтроля откроет новые возможности для борьбы с повседневными проблемами современной цивилизации – стрессом, депрессиями, вредными привычками и зависимостями.

Авторы выражают благодарность В.М. Верхлютову, А.Е. Осадчему, Т.А. Строгановой, А.Г. Трофимову, С.Л. Шишкину, А.В. Чижову и другим участникам этих исследований. С особой признательностью хотелось бы отметить неизменный интерес к проблеме сознания со стороны Е.П. Велихова.

Литература

1. **Е.Н. Соколов**
Очерки по психофизиологии сознания, Москва, МГУ, 2008, 255 с.
2. **G. Tononi**
Archives Italiennes de Biologie, 2010, **148**(3), 299.
3. **S. Sarasso, M. Rosanova, A.G. Casali, S. Casarotto, M. Fecchio, M. Boly, O. Gosseries, G. Tononi, S. Laureys, M. Massimini**
Clin. EEG Neurosci., 2014, **45**(1), 40. DOI: 10.1177/1550059413513723.
4. **В.М. Velichkovsky**
Memory, 2002, **10**(5-6), 405. DOI: 10.1080/09658210244000234.
5. **В.М. Velichkovsky, T. Klemm, P. Dettmar, H.-J. Volke**
Klin. Neurophysiol., 1996, **27**(3), 111. DOI: 10.1055/s-2008-1060200.
6. **A. Butorina, A. Prokofyev, M. Nazarova, V. Litvak, T. Stroganova**
NeuroImage, 2014, **103**, 181. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.09.024.
7. **M.I. Posner**
Attention in a Social World, USA, NY, New York, Oxford University Press, 2012, 195 pp.
8. **М.Н. Ливанов, В.М. Анянцев**
Электроэнцефалоскопия, Москва, Медгиз, 1959, 108 с.
9. **J. Goulet, G.B. Ermentrout**
Biological Cybernetics, 2011, **105**(3), 253. DOI: 10.1007/s00422-011-0465-3.
10. **М.В. Ковальчук, В.Г. Кон**
Успехи физических наук, 1986, **149**(5), 69.
DOI: 10.3367/UFNr.0149.198605c.0069.
11. **М.В. Ковальчук, Н.Н. Новикова, С.Н. Якунин**
Природа, 2012, №12 (1168), 3.
12. **E.V. Lubenov, A.G. Stapas**
Nature, 2009, **459**(7246), 534. DOI: 10.1038/nature08010.
13. **M.I. Posner, Y.-Y. Tang, G. Lynch**
Front. Psychol., 2014, **5**, 1220. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01220.
14. **G.J.L. Beckers, J. van der Meij, J.A. Lesku, N.C. Rattenborg**
BMC Biology, 2014, **12**(16), 1. DOI: 10.1186/1741-7007-12-16.
15. **D. Bischof-Köhler**
Spiegelbild und Empathie: Die Anfänge der sozialen Kognition, Switzerland, Bern, Verlag Hans Huber, 1989, 179 pp.
16. **Б.М. Величковский**
Сознание, в кн. *Большая Российская энциклопедия*, Т. 30, Москва, Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 2015, с. 623-626.
17. **Б.М. Величковский, Ю.О. Нурджин, Е.П. Свириц, Т.А. Стrogанова, А.А. Федорова, С.Л. Шишкин**
Вопросы психологии, 2016, **62**(1), 79.
18. **W.G. Walter**
Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten, 1964, **206**(3), 309.
DOI: 10.1007/BF00341700.
19. **M.E. Raichle**
Scientific American, 2010, **302**(3), 44.
20. **V.M. Verkhlyutov, V.L. Ushakov, P.A. Sokolov, B.M. Velichkovsky**
Psychology in Russia: State of the Art, 2014, **7**(4), 4.
DOI: 10.11621/pir.2014.0401.
21. **В.М. Velichkovsky, M. Joos, J.R. Helmert, S. Pannasch**
B Proc. The XXVII Conference of the Cognitive Science Society (Stresa, Italy, 21-23 July, 2005), Eds B.G. Bara, L. Barsalou, M. Bucciarelli, USA, NJ, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2005, pp. 2283-2288.
22. **K.J. Friston, L. Harrison, W. Penny**
NeuroImage, 2003, **19**(4), 1273. DOI: 10.1016/S1053-8119(03)00202-7.
23. **M.G. Sharaev, V.V. Zavyalova, V.L. Ushakov, S.I. Kartashov, B.M. Velichkovsky**
Front. Hum. Neurosci., 2016, **10**, 14. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00014.

English

The Study of Consciousness by Natural Science Methods: On a Possible Role of Wave-Like Integration Processes*

Boris M. Velichkovskiy –

RAS Corresponding Member, Professor,
National Research Centre “Kurchatov Institute”
1, Acad. Kurchatov Sqr., Moscow, 123182, Russia
e-mail: velich@applied-cognition.org

Mikhail V. Kovalchuk –

RAS Corresponding Member, Professor,
President of National Research Centre
“Kurchatov Institute”
1, Acad. Kurchatov Sqr., Moscow, 123182, Russia
e-mail: koval@nrcki.ru

Vadim L. Ushakov –

National Research Centre
“Kurchatov Institute”
1, Acad. Kurchatov Sqr.,
Moscow, 123182, Russia
e-mail: ushakov_vl@nrcki.ru

Maksim G. Sharaev –

National Research Centre
“Kurchatov Institute”
1, Acad. Kurchatov Sqr.,
Moscow, 123182, Russia
e-mail: sharaev_mg@nrcki.ru

*

The work was financially supported by RFBR (projects 13-04-01835, 15-29-01344 and 16-34-0055), RNF (14-28-00234).

Abstract

Understanding the functioning of consciousness is a fundamental scientific challenge. This issue is central for socio-humanitarian sciences and, at the same time, one of the main unsolved problems of modern natural science. Through the use of new physical methods of neuroimaging it appeared to be possible to update significantly knowledge about brain processes which underlie particular cognitive functions. At the same time, the studies of individual neurons or their conglomerates of different levels of aggregation have not yet resulted in tangible improvements in the understanding of brain integrative functions, such as consciousness, attention and intelligence. Over the past 10 years, results of a number of international mega-projects on the brain modeling were quite modest. Perhaps, the reason for this situation is the lack of consideration of the wave processes role in the integration of spatially distributed “modules” of cognitive processing. The study and simulation of such processes is precisely the subject of our study in the some grants framework of Russian Foundation for Basic Research. One can presume that, along with the progress in understanding the underlying brain mechanisms of consciousness and intentionality, one of the results of this approach would be a radical improvement in the efficiency of the modern “brain-computer” and “eye-brain-computer” interfaces.

Keywords: consciousness, intention, brain, eye movements, magnetic resonance imaging, default mode neuronetwork, dynamic casual modelling.

References

1. E.N. Sokolov
Essays on the psychophysiology of consciousness [Ocherki po psikhofiziologii soznaniya], Moscow, MSU Publ., 2008, 255 pp. (in Russian).
2. G. Tononi
Archives Italiennes de Biologie, 2010, **148**(3), 299.
3. S. Sarasso, M. Rosanova, A.G. Casali, S. Casarotto, M. Fecchio, M. Boly, O. Gosseries, G. Tononi, S. Laureys, M. Massimini
Clin. EEG Neurosci., 2014, **45**(1), 40. DOI: 10.1177/1550059413513723.
4. B.M. Velichkovsky
Memory, 2002, **10**(5-6), 405. DOI: 10.1080/09658210244000234.
5. B.M. Velichkovsky, T. Klemm, P. Dettmar, H.-J. Volke
Klin. Neurophysiol., 1996, **27**(3), 111. DOI: 10.1055/s-2008-1060200.
6. A. Butorina, A. Prokofyev, M. Nazarova, V. Litvak, T. Stroganova
NeuroImage, 2014, **103**, 181. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.09.024.
7. M.I. Posner
Attention in a Social World, USA, NY, New York, Oxford University Press, 2012. 195 pp.
8. M.N. Livanov, V.M. Ananov
Electrocerebroscopy [Elektroentsefaloskopija], Moscow, Medgiz Publ., 1959, 108 pp. (in Russian).
9. J. Goulet, G.B. Ermentrout
Biological Cybernetics, 2011, **105**(3), 253. DOI: 10.1007/s00422-011-0465-3.
10. M.V. Kovalchuk, V.G. Kohn
Sov. Phys. Usp. [Advances in Physical Sciences], 1986, **29**(5), 426. DOI: 10.1070/PU1986v029n05ABEH003377.
11. M.V. Kovalchuk, N.N. Novikova, S.N. Yakunin
Nature [Priroda], 2012, №12(1168), 3 (in Russian).
12. E.V. Lubenov, A.G. Siapas
Nature, 2009, **459**(7246), 534. DOI: 10.1038/nature08010.
13. M.I. Posner, Y.-Y. Tang, G. Lynch
Front. Psychol., 2014, **5**, 1220. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01220.
14. G.J.L. Beckers, J. van der Meij, J.A. Lesku, N.C. Rattenborg
BMC Biology, 2014, **12**(16), 1. DOI: 10.1186/1741-7007-12-16.
15. D. Bischof-Köhler
Spiegelbild und Empathie: Die Anfänge der sozialen Kognition, Switzerland, Bern, Verlag Hans Huber, 1989, 179 pp.
16. B.M. Velichkovskiy
Consciousness, in *Great Russian Encyclopedia [Bolshaya Rossiyskaya Entsiklopediya]*, V. 30, Moscow, Sci. Publ. “Great Russian Encyclopedia”, 2015, pp. 623-626 (in Russian).
17. B.M. Velichkovskiy, Yu.O. Nuzhdin, E.P. Svirin, T.A. Stroganova, A.A. Fedorova, S.L. Shishkin
Voprosy Psichologii [Problems of Psychology], 2016, **62**(1), 79 (in Russian).
18. W.G. Walter
Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten, 1964, **206**(3), 309. DOI: 10.1007/BF00341700.
19. M.E. Raichle
Scientific American, 2010, **302**(3), 44.
20. V.M. Verkhlyutov, V.L. Ushakov, P.A. Sokolov, B.M. Velichkovsky
Psychology in Russia: State of the Art, 2014, **7**(4), 4. DOI: 10.11621/pir.2014.0401.
21. B.M. Velichkovsky, M. Joos, J.R. Helmert, S. Pannasch
In Proc. The XXVII Conference of the Cognitive Science Society (Stresa, Italy, 21-23 July, 2005), Eds B.G. Bara, L. Barsalou, M. Bucciarelli, USA, NJ, Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2005, pp. 2283-2288.
22. K.J. Friston, L. Harrison, W. Penny
NeuroImage, 2003, **19**(4), 1273. DOI: 10.1016/S1053-8119(03)00202-7.
23. M.G. Sharaev, V.V. Zavyalova, V.L. Ushakov, S.I. Kartashov, B.M. Velichkovsky
Front. Hum. Neurosci., 2016, **10**, 14. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00014.

Диагностика профессиональных навыков на основе вероятностных распределений глазодвигательной активности *

Л.С. Куравский, П.А. Мармалюк, Г.А. Юрьев

Предложен новый метод моделирования и анализа пространственно-динамических особенностей глазодвигательной активности испытуемых, основанный на представлении движения взгляда по поверхности стимула с помощью случайных марковских процессов с непрерывным временем. Рассмотрена процедура идентификации и оценки адекватности вероятностных моделей, а также способ построения классификатора, позволяющего оценивать степень соответствия наблюдаемых распределений движения взгляда эталонным распределениям, полученным для различных диагностируемых групп.

Ключевые слова: диагностика, глазодвигательная активность, марковский процесс, уравнение Фоккера–Планка–Колмогорова.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-06-00191).

Введение

Методы регистрации движений глаз широко используются в современных фундаментальных исследованиях в области когнитивной психологии с целью выявления особенностей глазодвигательной активности (ГДА) испытуемых, например в процессе чтения, при решении задач на наглядно-образное мышление или при изучении психологически значимых стимулов, например изображений лиц людей [1–7].

Результаты таких исследований часто свидетельствуют о наличии факторов (возраст, пол, этническая или расовая принадлежность, уровень профессиональной подготовки, сформированность навыков), существенно влияющих на изменчивость показателей ГДА в рамках фиксированного стимульного материала и определяющих пространственно-временные особенности траекторий взгляда в однородных (по уровню выраженности фактора) группах испытуемых. К настоящему времени выявлен достаточно представительный список показателей ГДА, в которых проявляются значимые различия для диагностируемых категорий испытуемых [8].

Одной из наиболее актуальных практических задач, связанных с исследованием ГДА, является создание автоматизированных систем диагностики нового типа, основанных на регистрации ГДА испытуемых при изучении ими стимульного материала (например при чтении текстов специальной тематики) и последующем построении и применении

математических моделей, описывающих особенности ГДА в различных диагностируемых группах. Однако далеко не все показатели, представляющие интерес для фундаментальных исследований, пригодны для построения эффективных формализованных процедур диагностики, реализуемых в рамках таких систем. В то же время среди них можно выделить ряд характеристик, обеспечивающих решение востребованных частных задач, связанных с построением интеллектуальных и компетентностных тестов.

Одно из подобных решений представлено в этой работе, где рассмотрен новый метод моделирования и анализа пространственно-динамических особенностей глазодвигательной активности испытуемых, основанный на представлении движения взгляда по поверхности стимула с помощью случайного марковского процесса с непрерывным временем. Кроме того, описаны идентификация и оценка адекватности прогнозирующих моделей, а также способ построения вероятностного классификатора, позволяющего оценивать

**КУРАВСКИЙ****Лев Семенович**

профессор, Московский государственный психолого-педагогический университет

**МАРМАЛЮК****Павел Алексеевич**

Московский государственный психолого-педагогический университет

**ЮРЬЕВ****Григорий Александрович**

Московский государственный психолого-педагогический университет

степень соответствия траекторий взора неидентифицированных испытуемых эталонам, полученным для различных диагностируемых групп. Подробное математическое обоснование разработанного метода дано в работах [9–13]. На основе полученных результатов создается соответствующее программно-аппаратное обеспечение для диагностики испытуемых.

В качестве иллюстраций приведены примеры практического применения предложенного подхода, которые построены на результатах экспериментов, проведенных специалистами факультета информационных технологий Московского городского психолого-педагогического университета (МГППУ), центра экспериментальной психологии МГППУ и Русского авиационного общества. Полученные экспериментальные и расчетные результаты позволяют говорить об эффективности рассмотренного подхода и возможности построения на его основе автоматизированных диагностических средств оценки степени сформированности навыков и компетенций.

Математические основы метода

Этапы решения задачи классификации. Будем полагать, что испытуемым в процессе регистрации глазодвигательной активности предъявляется плоский визуальный стимул прямоугольной формы, представляющий некоторую содержательную информацию (текст, формулы, изображения, пользовательский интерфейс, веб-сайт и т.п.). Испытуемые разделены на несколько заранее известных групп (категорий), отражающих уровень исследуемого фактора. Полагая, что для каждой из этих групп доступна соответствующая выборка наблюдаемых траекторий движения взора по изучаемому стимулу, поставим задачу распознавания группы, к которой принадлежит испытуемый, по данным о движении его взора по по-

верхности стимула. Классификация в указанной постановке обеспечивается решением рассмотренных далее следующих подзадач:

- разделение поверхности стимула на зоны с помощью прямоугольной сетки (рис. 1);
- расчет выборочных частот пребывания в зонах стимула по выборке траекторий в каждой диагностируемой группе испытуемых;
- идентификация (аппроксимация) распределений вероятности пребывания взора на поверхности стимула по полученным выборочным частотам для всех диагностируемых групп испытуемых;
- оценка и сравнение вероятностей наблюдаемой траектории движения взора неидентифицированного испытуемого по поверхности стимула для каждой из заданных диагностируемых групп.

Построение модели. Пусть движение взора по поверхности стимула описывается векторной непрерывной случайной функцией времени $U(t) = (U_1(t), U_2(t))$, где $t \in T$. Плотность вероятности $p(u, t)$, характеризующая распределение значений функции $U(t)$, определяется при этом как $p(u, t) du = P\{u \leq U(t) < u + du\}$, где $u = (u_1, u_2) = (x, y)$, а du – элемент длины в R^2 .

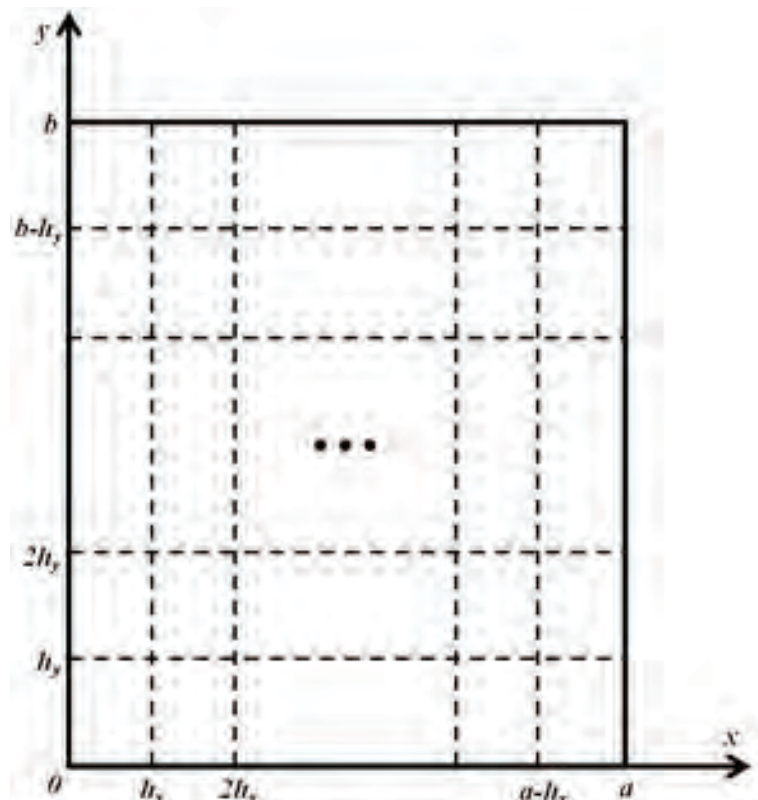


Рис. 1. Дискретизация замкнутой области стимула прямоугольной сеткой.

Будем полагать, что рассматриваемая случайная функция принадлежит к достаточно общему классу *марковских процессов* или *процессов без последовательности*, для которых в любые моменты времени $t_0 < t_1 < \dots < t_m$ выполняется условие $p(u_m, t_m | u_{m-1}, t_{m-1}; \dots; u_0, t_0) = p(u_m, t_m | u_{m-1}, t_{m-1})$. Такие процессы полностью определяются начальным распределением $p(u_0, t_0)$ и распределением *переходных вероятностей* $p(u, t | u_0, t_0)$. Это распределение в случае непрерывных процессов удовлетворяет *уравнению Фоккера–Планка–Колмогорова*:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \sum_{j=1}^2 \frac{\partial}{\partial u_j} (a_j p) + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \frac{\partial^2}{\partial u_j \partial u_k} (b_{jk} p)$$

с начальным условием $p(u, t | u_0, t_0) |_{t=t_0} = \delta(u - u_0)$. Функции $a_j(u, t)$ и $b_{jk}(u, t)$ представляют интенсивности рассматриваемых марковских процессов.

В работах [9, 13] показано, что поиск приближенного решения уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова сводится к решению задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений относительно плотности вероятности пребывания взора по поверхности стимула, усредненной по площади ячеек. Если, умножив каждую усредненную плотность вероятности на площадь ячейки, рассматривать каждую ячейку прямоугольной сетки размерностью как отдельное дискретное состояние случайного процесса с непрерывным временем, то данная система уравнений превратится в систему уравнений Колмогорова, описывающую динамику изменения вероятностей пребывания взора испытуемого в указанных состояниях. Каждому состоянию с номером n при этом ставится в соответствие уравнение (1).

$$\frac{\partial \tilde{p}^n(t)}{\partial t} = - \sum_j \eta_{nj}(t) \tilde{p}^n(t) + \sum_j \eta_{in}(t) \tilde{p}^j(t), \quad (1)$$

где $\tilde{p}^n(t) = \tilde{p}^n(t)G$ и $\tilde{p}^i(t) = \tilde{p}^i(t)G$ – вероятности пребывания в n -м и i -м состояниях; G – площадь ячейки прямоугольной сетки; $n, i = 1, \dots, M$; $M = lg$; η_{nj} – интенсивность переходов из состояния n в состояние j ; η_{in} – интенсивность переходов из состояния i в состояние n .

Следуя представленному в работах [9, 13–14] методу решения диагностической задачи, необходимо, используя данные наблюдений, решить подзадачу идентификации распределений вероятности пребывания взора на поверхности стимула для всех диагностируемых групп испытуемых.

Идентификация модели: критерий минимума χ^2 . Аппроксимация этих распределений с учетом проведенной дискретизации сводится к оценке свободных параметров модели – интенсивностей переходов между состояниями рассматриваемого

случайного процесса $\{\eta_{ij}\}_{i,j=1,\dots,M}$. Для решения задачи идентификации выполняют численную процедуру многомерной нелинейной оптимизации, обеспечивающую решение обратной задачи для системы дифференциальных уравнений Колмогорова [15]. В результате ее решения находят набор свободных параметров, который определяет систему уравнений. Решение последней обладает заданными характеристиками (вероятностные функции времени, аппроксимирующие наблюдаемую динамику вероятностей пребывания взора в зонах стимула).

Оценки свободных параметров (интенсивностей переходов) могут быть определены с помощью *критерия соответствия наблюдаемых и прогнозируемых гистограмм*, описывающих распределения частот пребывания в состояниях процесса. В качестве такого критерия далее используется *статистика Пирсона*:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^M \frac{(F_i - \tilde{p}^i(t)N)^2}{\tilde{p}^i(t)N},$$

где $\tilde{p}^i(t)N$ – прогнозируемая частота попадания в i -е состояние в момент времени t ; N – объем выборки; вероятностные функции $\tilde{p}^i(t)$ получают путем численного интегрирования систем уравнений Колмогорова; наблюдаемые частоты $F_i(t)$ представляют количества испытуемых, взор которых в заданные контрольные моменты времени пребывал в соответствующих зонах стимула.

Величина χ^2 является мерой соответствия в том смысле, что ее большие значения означают плохое согласование прогнозируемых и наблюдаемых результатов, а малые значения – хорошее согласование. Таким образом, решение задачи идентификации сводится к нахождению таких интенсивностей переходов η_{ij} , которые обеспечивают минимальное значение суммы статистик Пирсона в те контрольные моменты времени, для которых имеются результаты наблюдений.

Такой способ идентификации свободных параметров называется *методом минимума χ^2* [16]. Согласно теореме Крамера [16, с. 462–470] при выполнении ряда общих условий, в случае адекватности модели случайного процесса наблюдениям, рассмотренная задача идентификации имеет единственное решение, которое сходится по вероятности к искомому решению, а значения статистики χ^2 асимптотически описываются распределением χ^2 с $M - \gamma - 1$ степенями свободы, где γ – число определяемых значений свободных параметров. Знание распределения позволяет использовать приведенную выше статистику для проверки гипотезы о том, что полученные прогнозируемые частоты попадания в состояния согласуются с результатами наблюдений.

Очевидно, что использование этой статистики корректно только при выполнении условий указанной выше теоремы. Если условия теоремы не выполнены, то вычисление приближений к оценкам максимального правдоподобия с использованием критерия χ^2 остается возможным, однако полученное решение может быть не единственным, а значения соответствующей статистики не обязаны быть распределены как χ^2 . Следует отметить, что одним из признаков нарушения условий теоремы является невыполнение неравенства $M > \gamma - 1$.

Понижение размерности задачи идентификации. Как правило, идентификация свободных параметров случайных процессов со структурой связей между состояниями, представленной на *рисунке 2*, является сложной вычислительной задачей. Однако имеется эффективный прием, позволяющий упростить эту работу.

Для этого строки и столбцы состояний исходной сети могут быть объединены в сгруппированные состояния, а именно: нахождение в состоянии V_j ($j = 1, 2, \dots, q$) равносильно нахождению в одном из состояний

$S_j, S_{j+q}, \dots, S_{j+(l-1)q}$, а нахождение в состоянии H_i ($i=1, 2, \dots, l$) равносильно нахождению в одном из состояний $S_{(i-1)q+1}, S_{(i-1)q+2}, \dots, S_{iq}$ (*рис. 3*).

Получаемые при этом графы состояний представлены на *рисунке 4*.

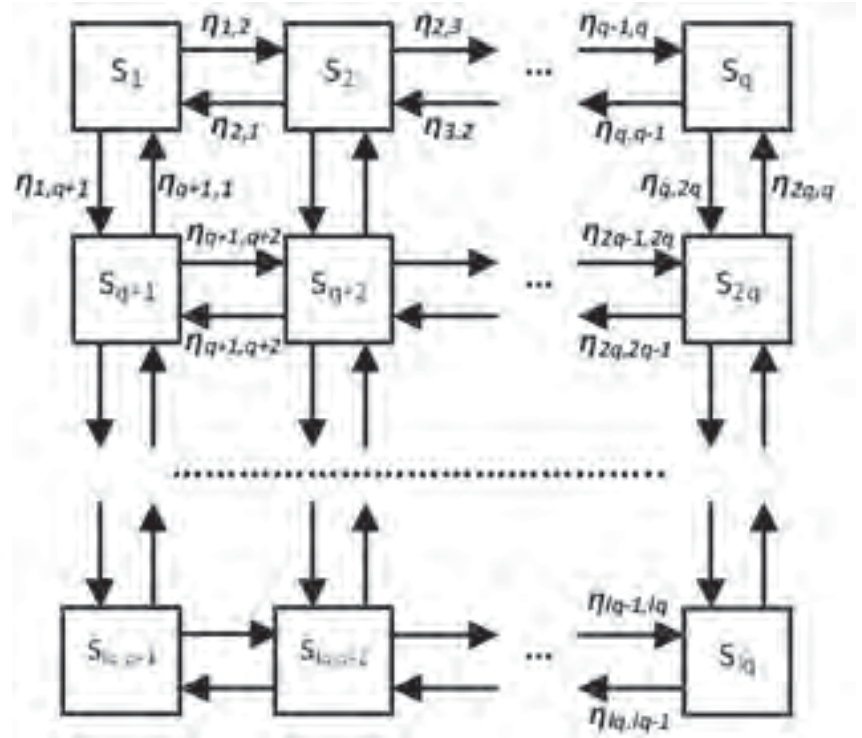


Рис. 2. Граф дискретных состояний, аппроксимирующий случайный процесс перемещения взора по поверхности стимула и соответствующий проведенной дискретизации стимула.

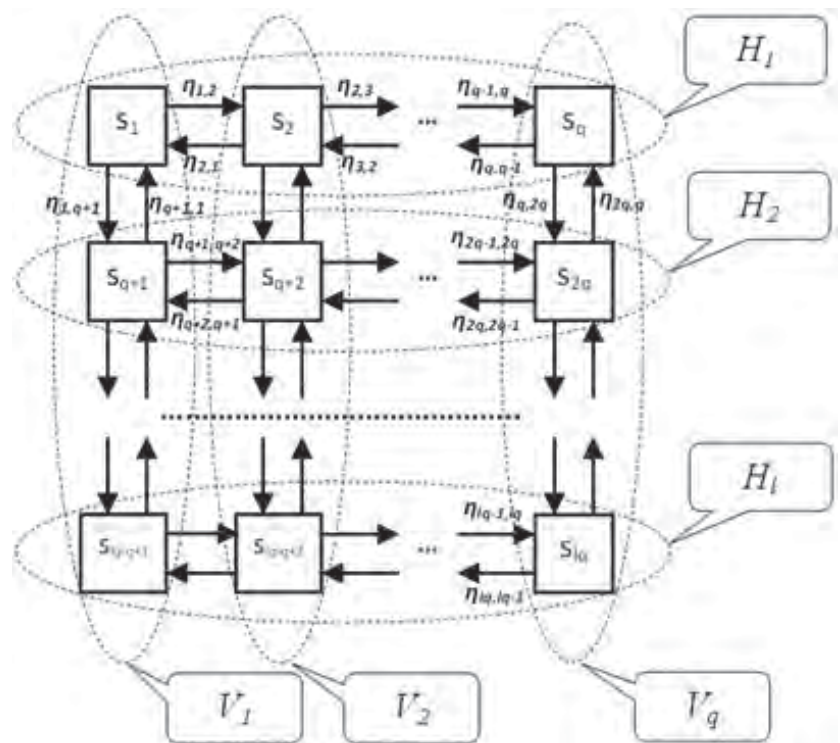


Рис. 3. Объединение состояний в группы.

Поскольку вероятность пребывания в каждом из сгруппированных состояний равна сумме вероятностей пребывания в составляющих его состояниях исходного случайного процесса, уравнения Колмогорова для вероятностей нахождения взора в сгруппированных состояниях получаются путем согласованного суммирования левых и правых частей всех уравнений (1), которые соответствуют ячейкам, формирующим данные состояния:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_V^1}{dt} = v_{1,-} - p_V^2 - v_{1,+} + p_V^1; \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dp_V^i}{dt} = v_i - 1 + p_V^{i-1} - (v_{i,+} + v_{i-1,-})p_V^i \\ \dots\dots\dots (i = 2, 3, \dots, q-1); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dp_V^q}{dt} = v_q - 1 + p_V^{q-1} - v_{q-1,-}p_V^q \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dp_H^1}{dt} = h_{1,-}p_H^2 - h_{1,+}p_H^1; \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dp_H^i}{dt} = h_{i-1,+}p_H^{i-1} + h_i - p_H^{i+1} - (h_{i,+} + h_{i-1,-})p_H^i \\ \dots\dots\dots (i = 2, 3, \dots, l-1); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dp_H^l}{dt} = h_{l-1,+}p_H^{l-1} - h_{l-1,-}p_H^l, \end{array} \right.$$

где

$$\begin{aligned} p_V^l &= \sum_{k=1}^l \tilde{p}^{(k-1)q+j} \quad (j = 1, \dots, q), \\ p_H^l &= \sum_{k=1}^q \tilde{p}^{(j-1)q+k} \quad (j = 1, \dots, l), \\ v_{j,+} &= \sum_{k=1}^l \eta_{(k-1)q+j, (k-1)q+j+1} \quad (j = 1, \dots, q-1), \\ v_{j,-} &= \sum_{k=1}^l \eta_{(k-1)q+j+1, (k-1)q+j} \quad (j = 1, \dots, q-1), \\ h_{j,+} &= \sum_{k=1}^q \eta_{(j-1)q+k, jq+k} \quad (j = 1, \dots, l-1), \\ h_{j,-} &= \sum_{k=1}^q \eta_{jq+k, (j-1)q+k} \quad (j = 1, \dots, l-1). \end{aligned}$$

Таким образом, исследование исходного случайного процесса, структура связей состояний которого определяется прямоугольной сеткой размерностью $l \times q$ (рис. 2), сводится к анализу двух процессов со сгруппированными состояниями, имеющих меньшую размерность (l и q) и упрощенную структуру связей (рис. 4).

Интенсивности переходов между сгруппированными состояниями могут быть идентифицированы, как указано выше. Возврат к исходному процессу прост: полагая, что вероятности пребывания в вертикально и горизонтально расположенных группах состояний

независимы, вероятность нахождения в состоянии, одновременно принадлежащего группам H_i и V_j , вычисляется как произведение вероятностей p_H^i и p_V^j пребывания в этих группах. Указанное предположение приводит к усреднению интенсивностей переходов вдоль заданных направлений в каждой из групп состояний и является приемлемым, если постановка задачи не предполагает определенных зависимостей между свободными параметрами. Представленный способ декомпозиции существенно упрощает анализ рассматриваемых систем.

Способ классификации траекторий. Получив, как показано выше, аппроксимации распределений вероятностей пребывания взора на поверхности стимула для различных групп испытуемых $\omega \in \Omega$, можно определять вероятностные оценки принадлежности к заданным категориям ранее не идентифицированных лиц. Чтобы решить эту задачу, для каждого такого лица следует зарегистрировать траекторию движения взора по поверхности рабочего стимула $U(t)$, $t \in T$ и, используя заранее известные аппроксимации $\widehat{p}_\omega(u, t | u_0, t_0)$ указанных распределений, определить вероятностные оценки P_ω прохождения наблюдаемых траекторий. В общем случае для каждой категории ω при этом вычисляется криволинейный интеграл 1-го рода:

$$\widehat{P}_\omega = \int_{U(t)} \widehat{p}_\omega(u, t | u_0, t_0) du,$$

где du – бесконечно малый элемент длины траектории $U(t)$. Испытуемый относится к категории ω_{max} с наибольшей вероятностной оценкой:

$$P_{\omega_{max}} = \max_{\omega \in \Omega} P_\omega.$$

На практике приведенные выше интегралы для вычисления заменяются своими численными оценками.

Первый пример практического применения

Экспериментальная процедура и оборудование. Цель исследования заключалась в экспериментальной про-

верке гипотезы о наличии значимых различий в пространственно-временных распределениях глазодвигательной активности пилотов летательных аппаратов разной квалификации для последующего использования этих данных для оценки уровня летной подготовки. Актуальность работы обусловлена необходимостью создания систем компьютерной диагностики нового типа, основанных на анализе движений взора испытуемых. Это в свою очередь определяется тем, что видео-окулография является фактически единственным средством получения информации о корректности считывания данных с авиационных приборов, которая недоступна пилотам-инструкторам и является важной составляющей летной квалификации. В рамках летной программы были проведены полеты экспериментаторов с двумя разными уровнями навыков пилотирования на самолете Ф-15 «Сапсан» (рис. 5).

Движения глаз регистрировали с помощью мобильной системы регистрации движений глаз SMI iView X HED [17] (рис. 6) в монокулярном режиме с частотой 50 Гц.

Калибровку проводили стандартным способом с использованием пяти опорных точек на приборной доске. Наблюдаемую сцену фиксировали с помощью фронтальной видеокамеры.

Результаты исследований. В результате обработки экспериментальных данных были получены приведенные на рисунках 7–9 оценки усредненных вероятностных распределений координат взора на поверхности приборной доски во время взлета, полета по кругу и посадки для неопытного пилота и пилота средней квалификации. Поверхность приборной доски разбита на прямоугольные зоны группировки с помощью регулярной сетки размерностью 10×10.

Для количественной оценки степени дифференциации полученных вероятностных распределений используется метод правдоподобных траекторий [13].

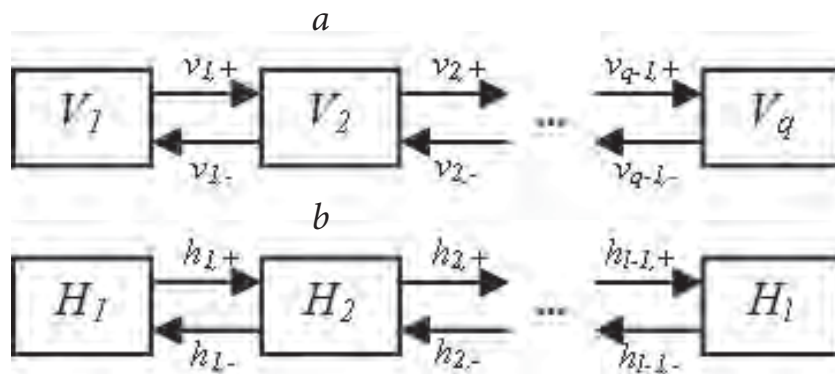


Рис. 4. Графы сгруппированных состояний: результат группировки столбцов (a) и строк (b).



Рис. 5. Полет самолета Ф-15 «Сапсан» в процессе эксперимента.



Рис. 6. Фиксация мобильной системы видеорегистрации движений глаз SMI iView X HED на голове пилота.

Представленные на рисунках 7–9 пары вероятностных распределений имеют высокосignificant отличия в смысле описанного в статье [13] критерия ($p < 0.0001$; $T = 20$), что свидетельствует о возможности использования рассмотренного подхода для оценки уровня летной подготовки пилотов и реальной перспективе построения соответствующих автоматизированных диагностических средств.

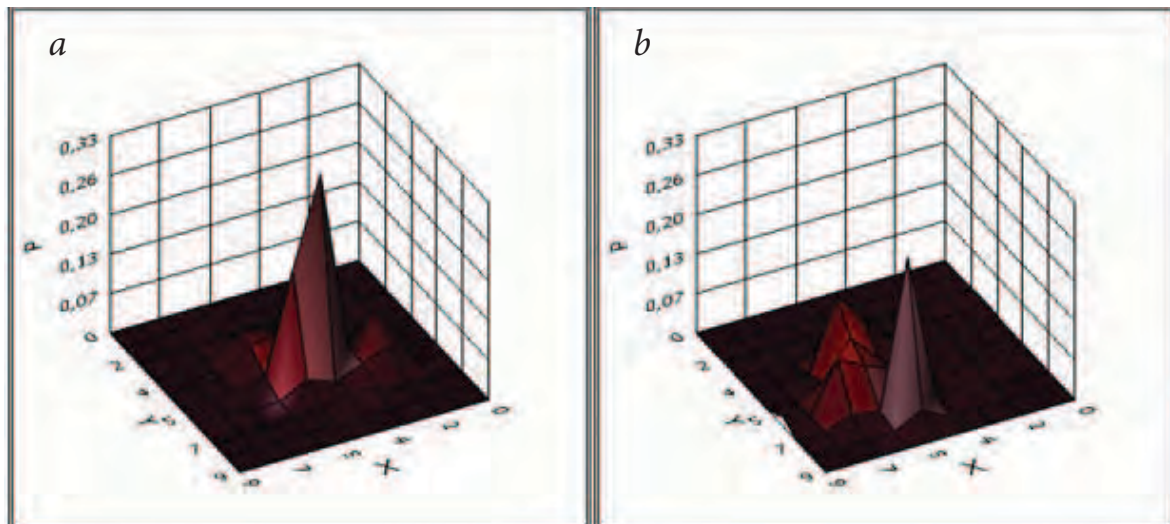


Рис. 7. Оценки усредненных вероятностных распределений координат взора на поверхности приборной доски во время взлета для неопытного пилота (а) и для пилота средней квалификации (б).

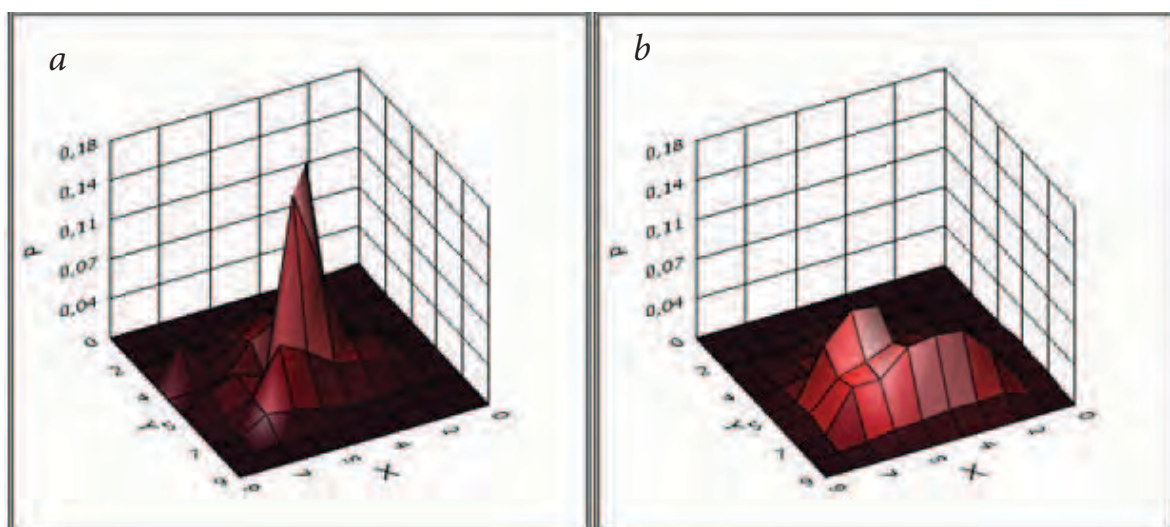


Рис. 8. Оценки усредненных вероятностных распределений координат взора на поверхности приборной доски во время полета по кругу для неопытного пилота (а) и для пилота средней квалификации (б).

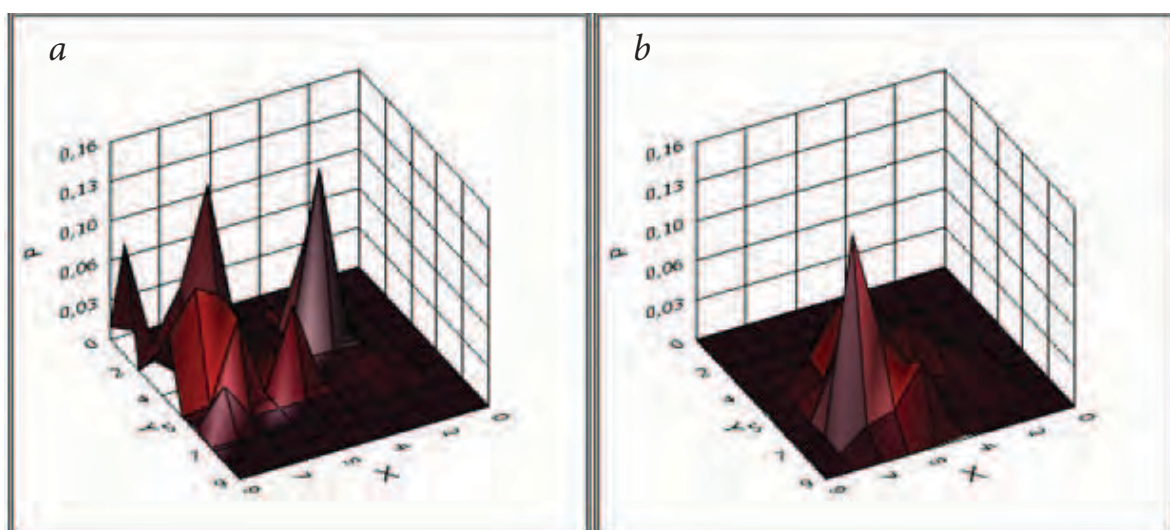


Рис. 9. Оценки усредненных вероятностных распределений координат взора на поверхности приборной доски во время посадки самолета для неопытного пилота (а) и для пилота средней квалификации (б).

Второй пример практического применения

Экспериментальная процедура и оборудование. Целью второго исследования была экспериментальная проверка гипотезы о наличии значимых различий пространственно-временных распределений глазодвигательной активности у диспетчеров с разными уровнями сформированности навыков работы с автоматизированным комплексом управления инженерными системами современного здания «Умный дом» с целью последующего использования этих результатов для оценки результатов учебной подготовки. В рамках эксперимента проводили видеорегистрацию движений глаз 22 испытуемых

при прослушивании постановки задачи, связанной с возникшей на удаленном контролируемом объекте экстренной ситуацией, при изучении стимула (рис. 10) и при ответе на целевой вопрос.

Движения глаз регистрировали с помощью системы видеорегистрации SMI HED [17] в монокулярном стационарном режиме с частотой 50 Гц. Калибровку проводили по 9 точкам экрана стимульного монитора стандартным способом. Наблюдаемую сцену фиксировали с помощью фронтальной видеокамеры айтрекера.

Результаты исследований каждой измеренной траектории движения взгляда оценивали «персональную» динамику вероятностного распределения координат взгляда. Для этого задавали определенное число точек траектории, определяющих ширину «скользящего» по траектории «окна», после чего траекторию разбивали на максимально возможное число участков без перекрытия. Затем для каждого из полученных участков траектории оценивали выборочные частоты пребывания взгляда испытуемого

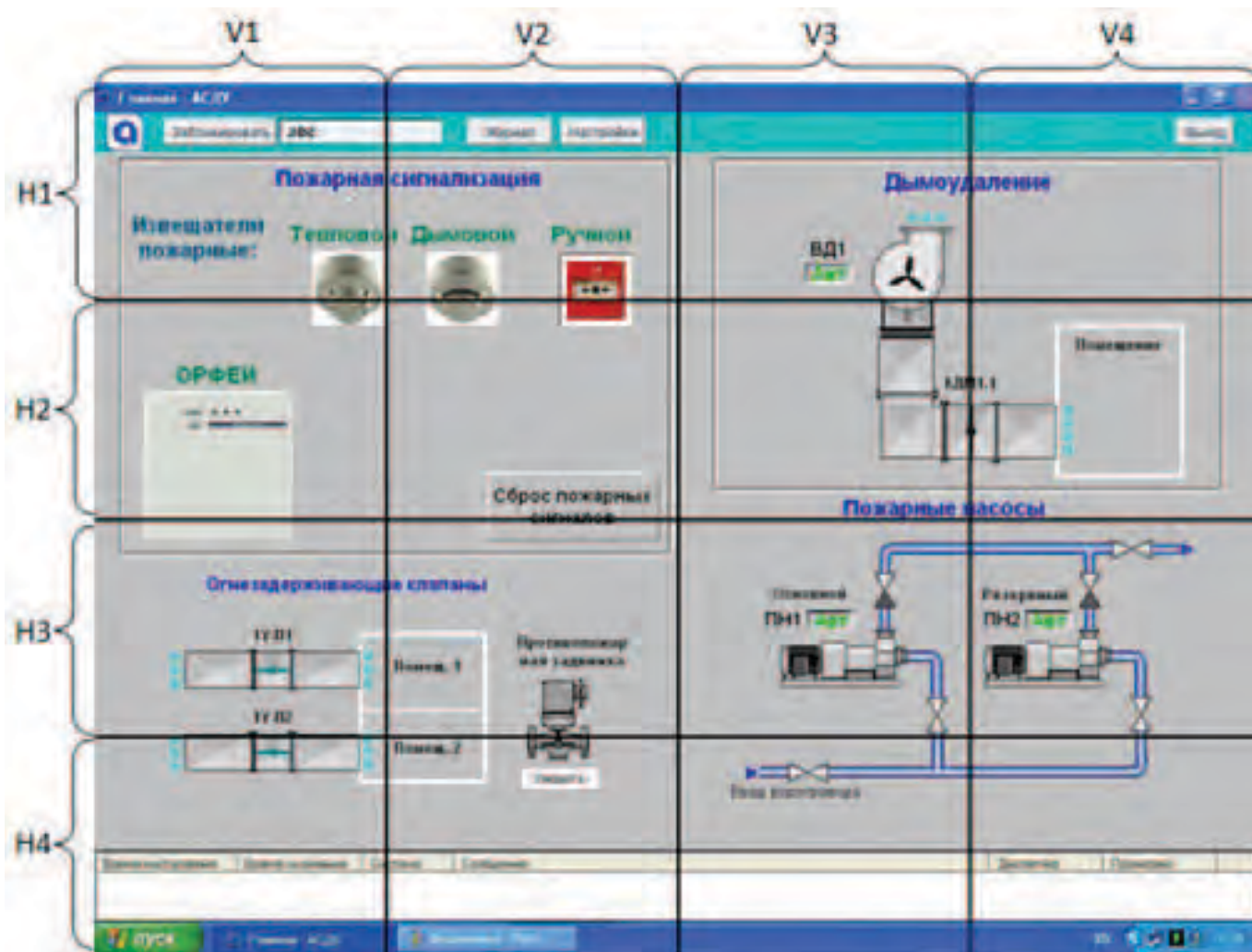


Рис. 10. Разделение стимула задачи на горизонтальные и вертикальные зоны (пространственные состояния).

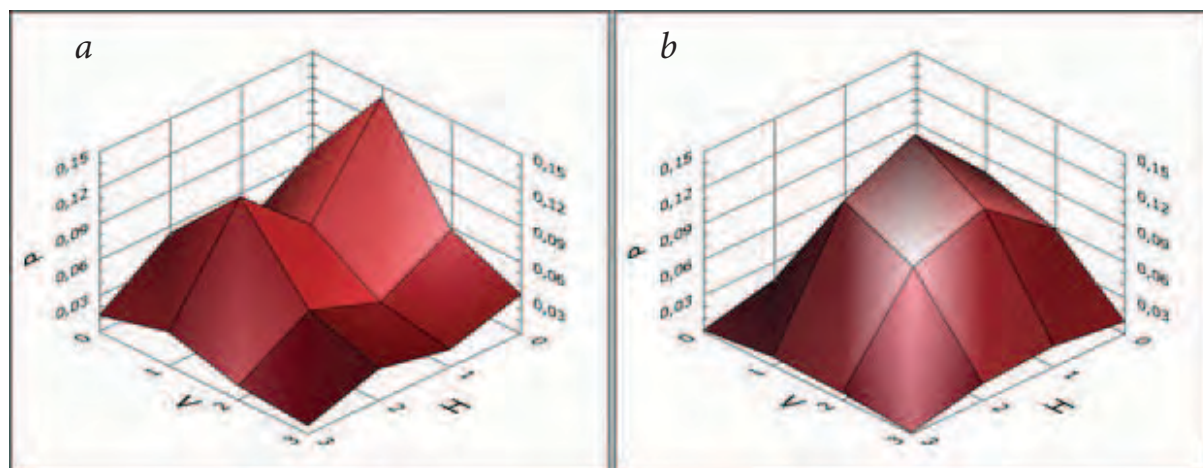


Рис. 11. Оценки усредненных вероятностных распределений точек расположения взора на поверхности стимула для неопытных (а) и опытных (б) диспетчеров.

в пространственных состояниях V1-V4, H1-H4 наблюдаемого стимула (рис. 10).

Полученные гистограммы выборочных частот пребывания в этих состояниях использовали при идентификации марковских моделей. Каждой диагностируемой группе испытуемых соответствовала своя идентифицированная модель.

На рисунке 11 приведены оценки усредненных вероятностных распределений точек расположения взора на поверхности стимула для неопытных и опытных диспетчеров.

Описанный выше способ классификации обеспечил правильный выбор категории испытуемых в 82% (18 из 22) проведенных экспериментов (имеет место статистически значимое отличие распределения числа успешных и неуспешных классификаций от равномерного распределения по критерию Пирсона, $p < 0.05$), что свидетельствует о возможности использования рассмотренного подхода для оценки уровня сформированности профессиональных навыков у диспетчеров автоматизированного комплекса управления инженерными системами здания.

Основные результаты и выводы

1. Разработан новый метод моделирования и анализа пространственно-динамических особенностей глазодвигательной активности испытуемых, основанный на аппроксимации динамики распределения вероятностей пребывания взора

в различных зонах визуального стимула с помощью случайных марковских процессов с непрерывным временем и применением средств идентификации прогнозирующих моделей.

2. Разработана формализованная процедура, позволяющая определять наиболее вероятные диагнозы путем оценки степени соответствия траектории взора тестируемого эталонным вероятностным распределениям, идентифицированным по результатам наблюдений для каждой из диагностируемых групп испытуемых. На основе этой процедуры создано программно-аппаратное обеспечение, позволившее провести ряд экспериментальных исследований.
3. Предложен метод правдоподобных траекторий, позволяющий количественно оценивать степень дифференциации вероятностных распределений пребывания взора на поверхности стимула с целью оценки возможности их использования для диагностики.

Литература

1. **В.А. Барабанищikov**
Экспрессии лица и их восприятие, Сер.: Экспериментальные исследования, Москва, Институт психологии РАН, 2012, 352 с.
2. **В.А. Барабанищikov, К.И. Аняньева, В.Н. Харитонов**
Экспериментальная психология, 2009, 2(2), 31.
3. **T.R. Hayes, A.A. Petrov, P.B. Sederberg**
J. Vision, 2011, 11(10), 10. DOI: 10.1167/11.10.10.
4. **A.R. Jansen, K. Marriott, G.W. Yelland**
Eur. J. Cogn. Psychol., 2007, 19(2), 286. DOI: 10.1080/09541440600709955.
5. **A.L. Patalano, B.J. Juhasz, J. Dicke**
J. Behav. Decision Making, 2010, 23(4), 353. DOI: 10.1002/bdm.661.
6. **K. Rayner**
Psychol. Bull., 1998, 124(3), 372. DOI: 10.1037//0033-2909.124.3.372.
7. **F. Vigneau, A.F. Caissie, D.A. Bors**
Intelligence, 2006, 34(3), 261. DOI: 10.1016/j.intell.2005.11.003.
8. **В.А. Барабанищikov, А.В. Жегалло**
Регистрация и анализ направленности взора человека, Сер.: Методы психологии, Москва, Институт психологии РАН, 2013, 316 с.
9. **Л.С. Куравский, П.А. Мармалюк, В.И. Алхимов, Г.А. Юрьев**
Экспериментальная психология, 2012, 5(4), 75.
10. **L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, G.A. Yuryev, P.N. Dumin, A.S. Panfilova**
Appl. Math. Sci., 2015, 9(82), 4053. DOI: 10.12988/ams.2015.53234.
11. **L.S. Kuravsky, S.N. Baranov**
In Proc. Int. Conf. "Condition Monitoring" (Cambridge, UK, 18–21 July, 2005), UK, Oxford, Coxmoor Publishing Company, 2005, pp. 111–118.
12. **L.S. Kuravsky, S.N. Baranov, G.A. Yuryev**
In Proc. The 7th Int. Conf. Condition Monitoring & Machinery Failure Prevention Technologies, (UK, Stratford-upon-Avon, 22–24 June, 2010), UK, Northampton, Brit. Inst. Non-Destructive Testing, 2010, pp. 59–81.
13. **L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, S.N. Baranov, V.I. Alkhimov, G.A. Yuryev, S.V. Artyukhina**
Appl. Math. Sci., 2015, 9(21), 1003. DOI: 10.12988/ams.2015.411899.
14. **Л.С. Куравский, П.А. Мармалюк, В.А. Барабанищikov, М.М. Безруких, А.А. Демидов, В.В. Иванов, Г.А. Юрьев**
Вопросы психологии, 2013, №5, 64.
15. **L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, G.A. Yuryev, P.N. Dumin**
Appl. Math. Sci., 2015, 9(8), 379. DOI: 10.12988/ams.2015.410882.
16. **Г. Крамер**
Математические методы статистики, пер. с англ., Москва, Мир, 1975, 648 с.
17. **А.А. Демидов, А.В. Жегалло**
Экспериментальная психология, 2008, 1(1), 149.

English

Diagnostics of Professional Skills Based on Probability Distributions of Oculomotor Activity *

Lev S. Kuravskiy –
Professor,
Moscow State Psychological-
Pedagogical University
29, Sretenka Str., Moscow, 127051, Russia
e-mail: l.s.kuravsky@gmail.com

Pavel A. Marmalyuk –
Moscow State Psychological-
Pedagogical University
29, Sretenka Str., Moscow, 127051, Russia
e-mail: pavel.marmalyuk@gmail.com

Grigoriy A. Yurev –
Moscow State Psychological-
Pedagogical University
29, Sretenka Str., Moscow, 127051, Russia
e-mail: g.a.yuryev@gmail.com

Abstract

A new modelling and analysis method of spatio-dynamic features of the subjects' oculomotor activity determination has been developed. The approach is based on the representation of gaze movement across a stimulus surface by means of random continuous-time Markov chain. Both the procedure of identification and assessment of the probability models adequacy and the classifier-building technique, allowing to estimate the conformity degree of the observed distributions of the gaze movement to reference distributions, were considered. The reference distributions were obtained for different diagnostic groups of subjects.

Keywords: diagnostics, oculomotor activity, Markov process, Fokker–Planck–Kolmogorov equation.

* *The work was financially supported by RFBR (project 14-06-00191).*

References ●

1. **V.A. Barabanshchikov**
Facial Expression and Their Perception, Ser.: Experimental studies [Ekspressii litsa i ikh vospriyatie, Ser.: Eksperimentalnye issledovaniya], Moscow, Institute of Psychology RAS, 2012, 352 pp. (in Russian).
2. **V.A. Barabanshchikov, K.I. Ananyeva, V.N. Kharitonov**
Experimental Psychology (Russia) [Eksperimentalnaya psikhologiya], 2009, 2(2), 31 (in Russian).
3. **T.R. Hayes, A.A. Petrov, P.B. Sederberg**
J. Vision, 2011, 11(10), 10. DOI: 10.1167/11.10.10.
4. **A.R. Jansen, K. Marriott, G.W. Yelland**
Eur. J. Cogn. Psychol., 2007, 19(2), 286.
DOI: 10.1080/09541440600709955.
5. **A.L. Patalano, B.J. Juhasz, J. Dicke**
J. Behav. Decision Making, 2010, 23(4), 353. DOI: 10.1002/bdm.661.
6. **K. Rayner**
Psychol. Bull., 1998, 124(3), 372. DOI: 10.1037//0033-2909.124.3.372.
7. **F. Vigneau, A.F. Caissie, D.A. Bors**
Intelligence, 2006, 34(3), 261. DOI: 10.1016/j.intell.2005.11.003.
8. **V.A. Barabanshchikov, A.V. Zhegallo**
Registration and Analysis of Human Gaze Direction, Ser.: Methods of Psychology [Registratsiya i analiz napravlenosti vzora cheloveka, Ser.: Metody psikhologii], Moscow, Institute of Psychology RAS, 2013, 316 pp. (in Russian).
9. **L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, V.I. Alkhimov, G.A. Yur'e**
Experimental Psychology (Russia) [Eksperimentalnaya psikhologiya], 2012, 5(4), 75 (in Russian).
10. **L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, G.A. Yuryev, P.N. Dumin, A.S. Panfilova**
Appl. Math. Sci., 2015, 9(82), 4053. DOI: 10.12988/ams.2015.53234.
11. **L.S. Kuravsky, S.N. Baranov**
In *Proc. Int. Conf. "Condition Monitoring"* (Cambridge, UK, 18–21 July, 2005), UK, Oxford, Coxmoor Publishing Company, 2005, pp. 111-118.
12. **L.S. Kuravsky, S.N. Baranov, G.A. Yuryev**
In *Proc. The 7th Int. Conf. Condition Monitoring & Machinery Failure Prevention Technologies*, (UK, Stratford-upon-Avon, 22-24 June, 2010), UK, Northampton, Brit. Inst. Non-Destructive Testing, 2010, pp. 59-81.
13. **L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, S.N. Baranov, V.I. Alkhimov, G.A. Yuryev, S.V. Artyukhina**
Appl. Math. Sci., 2015, 9(21), 1003. DOI: 10.12988/ams.2015.411899.
14. **L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, V.A. Barabanshchikov, M.M. Bezrukikh, A.A. Demidov, V.V. Ivanov, G.A. Yuryev**
Voprosy Psichologii [Psychology issues], 2013, №5, 64 (in Russian).
15. **L.S. Kuravsky, P.A. Marmalyuk, G.A. Yuryev, P.N. Dumin**
Appl. Math. Sci., 2015, 9(8), 379. DOI: 10.12988/ams.2015.410882.
16. **H. Cramer**
Mathematical Methods of Statistics, USA, NJ, Princeton, Princeton Univ. Press, 1946, 575 pp.
17. **A.A. Demidov, A.V. Zhegallo**
Experimental Psychology (Russia) [Eksperimentalnaya psikhologiya], 2008, 1(1), 149 (in Russian).

Парадигма для определения латерализации языка в мозге: естественнонаучный метод на службе лингвистики *

Т.А. Большина, С.А. Малютина, В.В. Завьялова, Г.А. Игнатьев, В.Л. Ушаков, Ю.С. Акинина, М.В. Иванова, О.В. Драгой

Целью работы было создание речевого локалайзера, позволяющего надежно определять области мозга, связанные с пониманием и порождением речи. Во время функциональной магнитно-резонансной томографии испытуемые читали вслух специальным образом составленные предложения на русском языке и завершали их подходящим по смыслу словом. В результате апробации парадигмы у всех (15) испытуемых была выявлена активация в релевантных для языка областях мозга (нижнелобная и средневисочная извилины). Более того, локалайзер позволил наблюдать индивидуальную вариативность латерализации языка. Таким образом, разработанная парадигма может претендовать на роль универсального задания для определения латерализации языка в мозге – для дальнейших фундаментальных и клинических исследований.

Ключевые слова: речевой локалайзер, латерализация языка, ведущая рука.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-06-08516).

Введение

Владение языком – способность порождать и понимать языковые выражения – это одна из важнейших и отличительных способностей человека. Как высшая психическая функция, реализуемая на биологическом субстрате – мозге, язык изучается в рамках нейролингвистики, центральной задачей которой является поиск, выявление и уточнение его нейрональных основ. Один из давних, но до сих пор не решенных вопросов нейролингвистики – вопрос о латерализации языка, то есть особенности распределения языковых функций между двумя полушариями головного мозга.

Известно, что мозговая латерализация языка не универсальна. Так, например, есть предположение, что индикатором локализации языка в мозге может служить ведущая (доминантная) рука. Со времен Поля Брока (XIX в.) распространена гипотеза о том, что у правшей речевая функция локализована в левом полушарии, в то время как у левшей – в правом. Долгое время эта гипотеза была известна как «правило Брока», несмотря на то, что сам ученый не говорил о подобной зависимости ведущей руки и латерализации речи. Отечественный нейропсихолог А.Р. Лурия [1] был одним из первых, кто на примере левшей с афазией, возникшей после повреждения



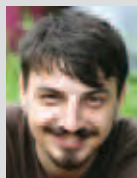
БОЛЬГИНА
Татьяна
Александровна
НИУ «Высшая школа
экономики»



МАЛЮТИНА
Светлана
Александровна
НИУ «Высшая школа
экономики»



ЗАВЬЯЛОВА
Виктория Валерьевна
НИЦ «Курчатовский институт»,
НИУ «Высшая школа
экономики»



ИГНАТЬЕВ
Григорий Александрович
НИУ «Высшая школа
экономики»



УШАКОВ
Вадим Леонидович
НИЦ «Курчатовский институт»,
НИЯУ МИФИ



АКИНИНА
Юлия Сергеевна
НИУ «Высшая школа
экономики»



ИВАНОВА
Мария Васильевна
НИУ «Высшая школа
экономики»



ДРАГОЙ
Ольга Викторовна
НИУ «Высшая школа
экономики»

левого полушария, опровергнул эту гипотезу – то есть показал, что у левшей речевая функция может быть латерализована в левом полушарии, так же как и у правшей. Аналогичные результаты были получены за рубежом: у одних пациентов-левшей и амбидекстров после инсульта в правом полушарии возникали речевые нарушения [2, 3]; однако у других – не возникали [4]. Таким образом, поражение правого полушария мозга у людей с ведущей левой рукой далеко не всегда приводит к речевым нарушениям, что указывает на доминантность у них по речи левого полушария, как и в данных А.Р. Лурии. Современные исследования мозговой организации языка в популяции здоровых людей с помощью методов нейровизуализации [5–7] также показали, что у многих правшей наблюдается левополушарная латерализация речевой функции, однако у левшей локализация речевых зон может варьировать – языковые зоны могут быть локализованы в правом полушарии, в левом полушарии или билатерально (в обоих полушариях головного мозга).

Результаты перечисленных работ демонстрируют, что ведущая рука является неидеальным предиктором латерализации языка в мозге. Недавно была предложена идея, что не ведущая рука как таковая, а генетическая предрасположенность к левшеству в гораздо большей степени объясняет распределение нейронального субстрата различных языковых процессов между полушариями [8]. В нашей продолжающейся работе, поддержанной Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 15-06-08516), эта гипотеза проверяется экспериментально. Для этого мы собираем информацию о ведущей руке родственников каждого из 50 здоровых русскоязычных испытуемых до третьего колена, вычисляем индекс его генетической предрасположенности к левшеству и используем этот индекс, наряду с индексом личного (фенотипического) левшества, как предиктор распределения речевых зон по полушариям мозга. Критичным этапом проекта стала разработка метода определения латерализации языка на индивидуальном уровне.

Ранее для определения доминантного по речи полушария мозга использовали латерализующий интракаротидный амобарбитальный тест Вада (англ. – WADA Test; [9]), который считался «золотым стандартом». Однако эта процедура имела ряд методологических и технических ограничений, таких как инвазивность, плохое пространственное разрешение, невозможность многократного воспроизведения теста и др. [5]. На смену тесту Вада пришли методы нейровизуализации: позитронно-эмиссионная, а затем и функциональная магнитно-

резонансная томография (фМРТ). На текущий момент фМРТ наиболее широко применяется в исследованиях, направленных на изучение латерализации речевой функции. Метод заключается в измерении локальных изменений уровня насыщенности кислородом мозгового кровотока, связанных с выполнением активной речевой задачи – по сравнению с неким контрольным условием. При этом, во-первых, очень важно наполнение такой речевой задачи, поскольку полученный результат будет свидетельствовать о латерализации именно того речевого процесса, который был задействован в ней. А во-вторых, критичен выбор контрольного условия, поскольку в фМРТ-анализе обычно используется логика вычитания: из активации, связанной с экспериментальным условием, вычитается активация, связанная с контрольным условием. В идеальном случае это должно результировать в активации, характерной именно для исследуемой экспериментальной задачи.

В предыдущих нейровизуализационных работах использовали целый ряд вариантов речевого и контрольного условий для определения латерализации областей, вовлеченных в речевую функцию (а также для локализации конкретных областей внутри каждого полушария). Например, в работе [5], в которой изучали латерализацию языка у здоровых левшей и правшей, использовали задание на классификацию слов – семантическую и грамматическую. В задании на семантическую классификацию требовалось классифицировать предъявляемые глаголы и существительные на группы «абстрактное»/«конкретное», а в качестве контрольного условия – распознать, написаны ли два слова через один пробел или через два. В задании на грамматическую классификацию требовалось классифицировать слова на группы «глагол»/«существительное», а в

качестве контрольного условия – распознать, написаны ли слова заглавными или строчными буквами. Таким образом, авторы настоящей работы рассчитывали вычлесть из активации, полученной в экспериментальном задании, компонент зрительного и орфографического восприятия и получить активацию, связанную с решением собственно лингвистической задачи. Из двух экспериментальных заданий лучшим оказалось задание на семантическую классификацию слов: именно при его выполнении была получена наиболее четкая латерализация участков активации мозга. Однако это задание было направлено на пассивную лексико-семантическую речевую обработку и не задействовало процессы порождения речи.

В исследовании [6] изучали латерализацию речевой функции в группе левшей и амбидекстров в зависимости от семейного левшества. В экспериментальном задании испытуемые прослушивали названия животных и нажатием кнопки выбирали тех, которые соответствовали определенным семантическим критериям (например «животное используется людьми»). В контрольном задании предъявлялись последовательности от трех до семи тонов, синтезируемых компьютером, и испытуемым необходимо было нажать на кнопку, если они слышали два звучащих подряд высоких тона. Так, при анализе данных из активации экспериментального условия вычитался компонент слухового восприятия (декодирование звукового сигнала), и в результате получалась активация, связанная с лексико-семантическим анализом стимулов. В другом релевантном исследовании [7] в качестве стимульного материала использовали 30-секундные записи рассказа на родном для испытуемых языке – французском (экспериментальное условие), чередующиеся с такими же по длине записями речи на незнакомом для испытуемых язы-

ке – тамильском (контрольное условие). Перед испытуемыми стояла задача внимательно прослушать рассказы и ответить на вопросы по их содержанию сразу же по окончании фМРТ-сканирования. Следовательно, после вычитания активации в контрольном условии из активации в экспериментальном условии была получена активация, связанная с широким спектром процессов семантической, грамматической и лексической обработки прослушанного текста на родном языке. Итак, в вышеописанных исследованиях применяли задания на восприятие и понимание речи, но не исследовали порождение.

Речепорождение изучено в фМРТ-исследовании [10], которое фокусировалось на латерализации речевой функции в коре головного мозга и в мозжечке. Здоровые испытуемые и пациенты с опухолью головного мозга выполняли задание на порождение глаголов, семантически связанных с предъявляемыми им на слух существительными. В контрольном условии испытуемым проигрывали высокочастотные и низкочастотные тоны. Таким образом, это задание уже задействовало и речепонимание (понимание смысла существительного), и речепорождение (подбор подходящего глагола), однако эти процессы были задействованы на уровне слова и фразы, а не коммуникативной единицы – предложения.

Таким образом, на сегодняшний день остается актуальной задача разработки оптимальных фМРТ-парадигм, позволяющих надежно локализовать речевую функцию (в том числе определять ее латерализацию), учитывая и понимание, и порождение речи. Только при наличии такого инструмента оказывается возможным изучение мозговой латерализации языка в зависимости от лингвистических и нелингвистических факторов (например доминантности руки и генетической предрасположенности к левшеству, как в текущем исследовании). В предыдущих работах в качестве речевого локализера использовали различные задания, каждое из которых имело свои ограничения: они затрагивали только один уровень языковой обработки [5, 6] или, наоборот, были очень общими и могли обладать недостаточной специфичностью [7]. Целью одного из этапов настоящего исследования являлось создание такой русскоязычной фМРТ-парадигмы, которая позволила бы максимально надежно определять латерализацию речи в каждом индивидуальном случае. Ранее нами были предприняты попытки решения этой методологической задачи. Так, в качестве экспериментального условия было использовано задание на чтение русских предложений, а в качестве контрольных условий предлагали три вида заданий – чтение псевдослов, упрощенных псевдослов

и списков слогов. Однако все апробированные парадигмы не выявляли надежную активацию областей мозга, вовлеченных в речевую функцию: прежде всего нижнелобных и средневисочных отделов мозга [11]. В настоящей работе представлен речевой локалайзер, преодолевающий недостатки более ранних парадигм.

Экспериментальная часть

Участники. В апробации речевого локалайзера приняли участие 15 неврологически здоровых носителей русского языка (средний возраст 26 лет, SD = 5.76; 10 женщин, 5 мужчин). Участие в исследовании было добровольным, и от всех испытуемых было получено письменное информированное согласие. Также испытуемые заполняли опросный лист для исключения противопоказаний к фМРТ-исследованию, анкету-опросник на определение ведущей руки (русскоязычную версию Эдинбургского опросника; [12]) и опросник на семейное левшество, характеризующий родственников испытуемого до третьего колена с точки зрения их доминантной руки [13].

Материалы. В ходе эксперимента испытуемые лежали в МРТ-томографе и выполняли два вида заданий. В экспериментальном условии они читали вслух предложения русского языка, предъявленные на экране, и завершали их подходящим по смыслу словом. По структуре предложения состояли из наречия времени, подлежащего (одушевленное существительное), сказуемого (переходный глагол) и заканчивались многоточием, на место которого нужно было подобрать подходящее по смыслу прямое дополнение в правильной грамматической форме и произнести его вслух. Кроме того, в половине стимулов имелось прилагательное при объекте (например «Недавно сосед чинил ветхие...»), а в другой половине – наречие при предикате («Вчера электрик туго смотал...»). В контрольном условии (англ. – baseline) задачей испытуемых было прочитать вслух последовательности из четырех одинаковых слогов и повторить тот же слог в пятый раз, например: «Рооо рооооо рооооооо рооо...». Последовательности слогов были уравнены по длине (в слогах и буквах) со стимулами экспериментального условия (предложениями). Оба условия вовлекали процессы чтения, выбора ответа и его артикуляции, однако контрольное условие (чтение слогов) не требовало лексико-грамматического анализа (как при понимании предложений) и поиска (как при подборе недостающего слова). Следовательно, при анализе фМРТ-данных после вычитания активации мозга в контрольном условии из активации в экс-

периментальном условии получалась активация областей мозга, связанных именно с языковой обработкой, – пониманием смысла предложений и подбором необходимого слова. Эксперимент длился около 30 мин и был разделен на две сессии с небольшим перерывом между ними. Каждая экспериментальная сессия состояла из 120 стимулов (60 экспериментальных предложений, 60 контрольных последовательностей слогов), которые были распределены по чередующимся блокам, по три пробы в каждом. Так, сначала предъявлялись три предложения, затем три последовательности слогов и так далее. В промежутках между стимулами предъявлялся восклицательный знак «!», сигнализирующий о том, что необходимо закончить выполнение задания на предыдущий стимул и приготовиться к следующему. Выполнению задания предшествовало анатомическое сканирование (T1), занимающее 9 мин.

Параметры сканирования. Исследование проводили на томографе Siemens Magnetom Verio 3T. С использованием последовательности 3D MP-RAGE (TR/TE/FA – 1900 мс / 2.2 мс / 9°) было получено 176 анатомических T1-изображений мозга. Функциональные T2*-изображения получены с помощью последовательности EPI: время повторения (TR) 7000 мс, эхо-время (TE) 30 мс, угол наклона вектора (FA) 90°. При сканировании томограф производит громкий шум, поэтому, чтобы во время эксперимента можно было записывать речь испытуемых, был использован метод сканирования с промежутками (англ. – sparse sampling), то есть сканирование каждого функционального объема мозга производилось спустя отведенное для ответа испытуемого время. Для обработки данных была использована программа SPM 8 в среде Matlab R2012b. Для каждого испытуемого проводили предварительную обработку фМРТ-данных с последующим статистическим анализом, в котором применяли парный

критерий Стьюдента для повоксельного сравнения активации в экспериментальном и контрольном условиях ($p < 0.01$, кластерная коррекция множественных сравнений с минимальным размером кластера 200 вокселей). Также для каждого испытуемого был подсчитан индекс латерализации полученной активации с использованием утилиты Lateralization index для SPM. Для подсчета индекса латерализации были использованы маски лобной и височной областей. Индекс латерализации отражает распределение активации между левым и правым полушариями головного мозга; учитывается количество вокселей в маске, значимо активированных в экспериментальном условии по сравнению с контрольным, а также значение статистики Стьюдента в этих вокселях.

Результаты

Согласно анкете-опроснику на определение ведущей руки [12] всех испытуемых можно распределить на три группы: 5 абсолютных правшей (индекс руки от +82 до +100), 7 испытуемых с признаками амбидекстрии (индекс руки от +68 до -64) и 3 абсолютных левши (индекс руки от -91 до -100). В каждой группе прослеживалась характерная латерализация активации, связанной с выполнением речевого задания. В *таблице 1* представлены индексы латерализации активации в лобной и височной долях головного мозга каждого испытуемого.

Так, у большинства абсолютных правшей (испытуемые R1, R4, R5, индекс руки +100, +91, +86 соответственно) наблюдалась активация только в левом полушарии головного мозга (в височной и лобной долях, включая нижнелобную и средневисочную извилины, области которых вовлечены в процессы порождения и понимания речи). Однако у правши R2 (индекс руки +82) помимо обозначенных областей левого полу-

шария были дополнительно активированы небольшие области гомолога зоны Брока в правом полушарии. Кроме того, удалось выявить исключительный случай – у испытуемого R3 (индекс руки +100) наблюдалась билатеральная активация при выполнении речевого задания (помимо сильной активации в левом полушарии были активны области височной и лобной доли правого полушария).

В группе испытуемых с признаками амбидекстрии (испытуемые A1–A7) прослеживалась вариативность активации, но можно выделить общую тенденцию. Как и в группе абсолютных правшей, у испытуемых с признаками амбидекстрии более обширная активация обнаружена в левом полушарии, причем у трех испытуемых (индексы руки +23, -45, -64) были активированы исключительно области левого полушария. Однако у четырех испытуемых с признаками амбидекстрии активация обнаружена и в правом полушарии. Так, в дополнение к левополушарной активации у двух испытуемых (индексы руки +68 и +59) наблюдалась активация в лобной и височной долях правого полушария, у одного испытуемого (индекс руки -59) – только в лобной доле правого полушария, а у одного испытуемого (индекс руки -5) – только в височной доле правого полушария.

У двух из трех абсолютных левшей (индекс руки -91 и -100 – испытуемые L1 и L2 соответственно) была выявлена активация релевантных для речи отделов мозга только в правом полушарии. При этом у абсолютного левши L3 (индекс руки -100) наблюдалась активация областей, ответственных за речевую обработку, только в левом полушарии.

Таким образом, у большинства испытуемых была обнаружена латерализация активации, ожидаемая на основании данных литературы о роли ведущей руки в латерализации речевой функции. *Рисунок 1* иллюстрирует статистические карты активации для контраста экспериментального и контрольного условий на примере трех показательных испытуемых – представителей каждой группы: правши R1 (индекс руки +100), испытуемого с признаками амбидекстрии A2 (индекс руки +59) и левши L1 (индекс руки -91). Однако удалось обнаружить и исключительные случаи, о которых упоминалось выше в описании результатов каждой группы испытуемых. Так, у испытуемых с признаками амбидекстрии A5 (индекс руки -45), A7 (индекс руки -64) и абсолютного левши L3 (индекс руки -100) при выполнении речевого задания было активно только левое полушарие головного мозга, что обычно характерно для правшей. У правши R3 (индекс руки +100), напротив, наблюдалась билатеральная активация.

Таблица 1. Индексы латерализации речевой активации каждого испытуемого на шкале от -1 (только в левом полушарии) до +1 (только в правом полушарии)

Испытуемые	Номер испытуемого	Индекс рукости	Лобная доля	Височная доля
Правши	R1	100	0.6	0.94
	R2	82	0.7	0.84
	R3	100	0.5	0.4
	R4	91	0.8	0.68
	R5	86	0.6	0.73
С признаками амбидекстрии	A1	68	0.5	0.58
	A2	59	0.5	0.35
	A3	-59	0.3	0.4
	A4	23	0.6	0.3
	A5	-5	0.9	0.7
	A6	-100	0.9	0.76
	A7	-64	0.6	0.42
Левши	L1	-91	-0.6	-0.2
	L2	-100	0	-0.2
	L3	-45	0.8	0.85

Обсуждение результатов

В предыдущих исследованиях применяли разнообразные методы и ставили различные задачи для определения латерализации речевой функции в мозге, но современный «золотой стандарт», который в каждом индивидуальном случае надежно определял бы локализацию речевых зон, связанных с речепорождением и речепониманием, так и не был определен. Целью настоящего исследования являлась разработка такой новой фМРТ-парадигмы на русском языке. Адекватность созданного речевого локалайзера подтверждается тем, что результаты соответствуют общепризнанному представлению о латерализации речевой функции в зависимости от ведущей руки [14]. Действительно, у большинства правшей активация была латерализована в левом полушарии головного мозга, у большинства левшей – в правом полушарии, в то время как у большинства амбидекстров – в обоих полушариях.

Обнаруживаемая активация была статистически значима на индивидуальном уровне, что делает разработанный метод особенно ценным для изучения такой нестрого латерализованной функции, как речь. Благодаря новой фМРТ-парадигме удалось выявить активацию обеих основных областей мозга, ответственных за языковую обработку: как нижнелобной, так и средневисоч-

ной области. Предыдущие версии фМРТ-локалайзеров были несовершенны, поскольку и в экспериментальном, и в контрольном условиях испытуемые выполняли задание на чтение предложений, списков псевдослов, последовательностей из слогов, что не давало четкой и хорошо воспроизводимой активации в нижней лобной извилине [11]. В текущей версии речевого локалайзера задание, направленное на чтение вслух и завершение предложений, активно вовлекает зону Брока, ответственную за порождение речи. То есть новый речевой локалайзер выявляет активацию обоих наиболее релевантных для речи отделов мозга – и лобной, и височной долей.

Другим не менее важным показателем успешности речевого локалайзера можно считать то, что он позволил обнаружить исключительные случаи латерализации речевой функции, такие как активация только левого полушария у левшей и билатеральное вовлечение упомянутых выше зон мозга у правшей. Следовательно, для определения латерализации речевой функции недостаточно информации о ведущей руке испытуемого. Как показали наши результаты, среди испытуемых с одинаковой ведущей рукой может наблюдаться вариативность по латерализации языка в мозге. Поэтому чтобы охарактеризовать латерализацию речевой функции в каком-либо индивидуальном случае, абсолютно необходимо использование фМРТ-локалайзера.

Таким образом, описанный речевой локалайзер может претендовать на роль универсального задания для определения латерализации речевой функции, так как разработанное задание успешно активировало связанные с речью зоны на высоком уровне статистической значимости, позволяющем анализировать индивидуальные случаи. Данная диагностическая процедура может быть рекомендована как для клинического

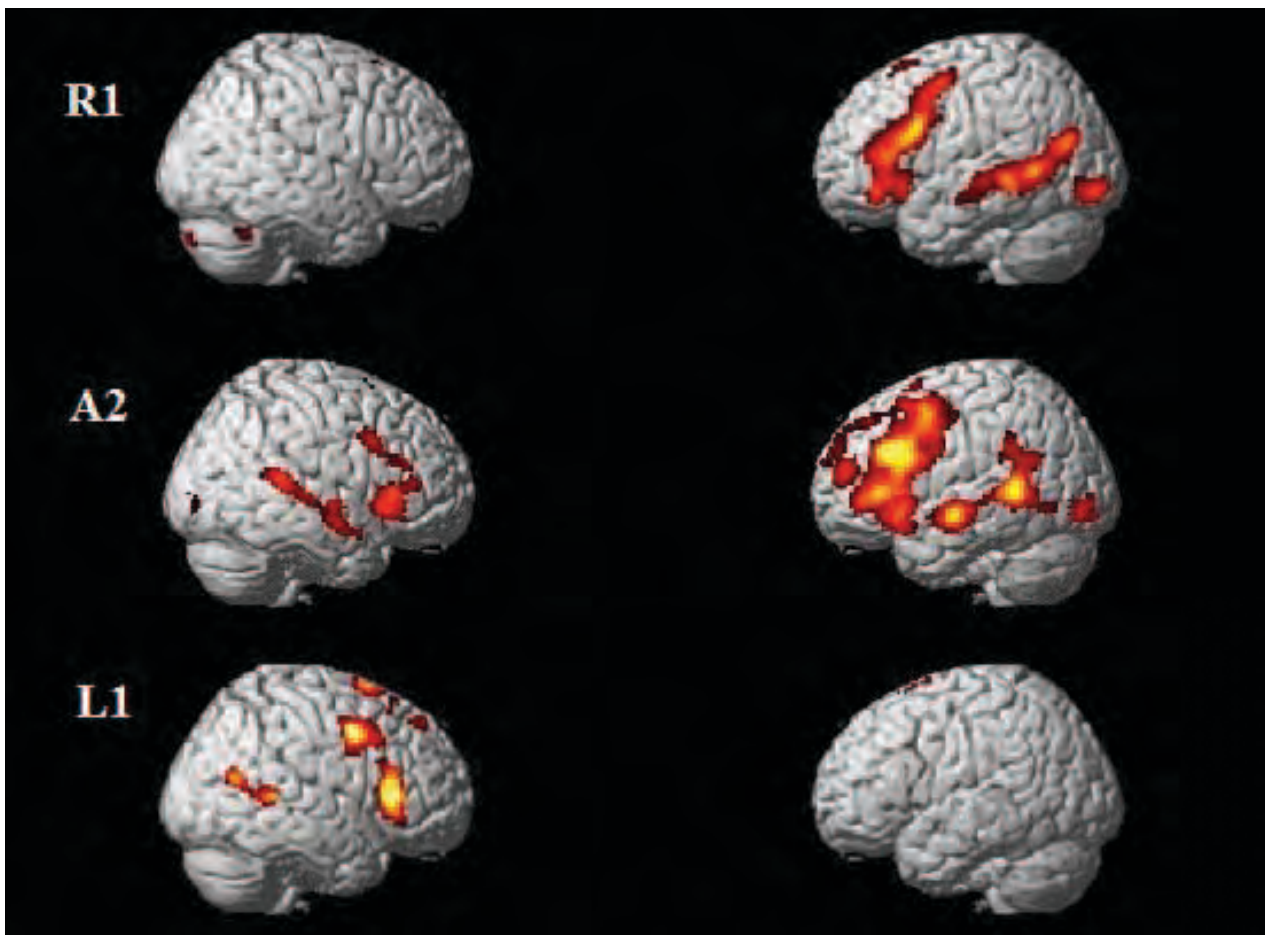


Рис. 1. Пример типичной языковой активации у испытуемых из каждой группы: правши R1, испытуемого с признаками амбидекстрии A2, левши L1 (размер кластера > 200 вокселей, статистический порог $p < 0.01$).

использования (для предоперационного картирования речи у пациентов с опухолью мозга и фармакорезистентной эпилепсией, для отслеживания реорганизации нейрофизиологических основ речевой функции после инсульта и т.п.), так и для фундаментальных нейронаучных исследований языка, где необходима оценка мозговой латерализации языка. В частности, разработанная методология будет далее использована в текущем проекте Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-06-08516). Пред-

варительные результаты, полученные в ходе апробации локалайзера, подтверждают, что латерализация языка у конкретного человека не может быть однозначно предсказана на основании его ведущей руки, поэтому мы планируем исследование дополнительного вклада семейного левшества в латерализацию речевой функции. Кроме того, разработанный речевой локалайзер может быть использован и в исследованиях, где латерализация как таковая не является объектом исследования, а, наоборот, используется в качестве независимой переменной: например в исследованиях индивидуальных различий в языковой обработке, возрастных изменений или речевого исхода поражений мозга в зависимости от латерализации речевой функции.

Литература

1. **A.P. Лурия**
Основные проблемы нейролингвистики, Сер.: Из наследия мировой психологии, Москва, Изд. МГУ, 1975, 256 с.
2. **K. Gloning**
Neuropsych., 1977, 15(2), 355.
3. **A. Basso, M. Farabola, M.P. Grassi, M. Laiacona, M.E. Zanobio**
Brain and Language, 1990, 38(2), 233.
DOI: 10.1016/0093-934X(90)90113-U.
4. **D. Kimura**
Hum. Neurobiol., 1983, 2(3), 147.
5. **M. Hund-Georgiadis, U. Lex, A.D. Friederici, D.Y. von Cramon**
Exp. Brain Res., 2002, 145(2), 166. DOI: 10.1007/s00221-002-1090-0.
6. **J.P. Szaflarski, J.R. Binder, E.T. Possing, K.A. McKiernan, B.D. Ward, T.A. Hammeke**
Neurology, 2002, 59(2), 238. DOI: 10.1212/WNL.59.2.238.
7. **N. Tzourio-Mazoyer, L. Petit, A. Razafimandimby, F. Crivello, L. Zago, G. Jobard, M. Joliot, E. Mellet, B. Mazoyer**
J. Neurosci., 2010, 30(40), 13314.
DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2593-10.2010.
8. **R. Hancock, T.G. Bever**
Biolinguistics, 2013, 7, 75.
9. **J. Wada, T. Rasmussen**
J. Neurosurg., 1960, 17(2), 266.
10. **C. Mendez Orellana, E. Visch-Brink, M. Vernooij, S. Kallio, D. Satoer, A. Vincent, A. van der Lugt, M. Smits**
AJNR: Am. J. Neuroradiol., 2015, 36(3), 518. DOI: 10.3174/ajnr.A4147.
11. **Г.А. Игнатъев, Р.М. Власова, Ю.С. Акинина, В.В. Завьялова, В.Л. Ушаков, М.В. Иванова, О.В. Драгой**
В Сб. трудов 3-й Постерн. конференции «Когнитивная наука в Москве: новые исследования», (Москва, 16 июня, 2015), под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман, Москва, БукиВеди, 2015, с. 158-164.
12. **R.C. Oldfield**
Neuropsychologia, 1971, 9(1), 97. DOI: 10.1016/0028-3932(71)90067-4.
13. **D.J. Townsend, C. Carrithers, T.G. Bever**
Brain and Language, 2001, 78(3), 308. DOI: 10.1006/brln.2001.2469.
14. **S. Knecht, B. Dräger, M. Deppe, L. Bobe, H. Lohmann, A. Flöel, E.-B. Ringelstein, H. Henningsen**
Brain: J. Neur., 2000, 123(12), 2512. DOI: 10.1093/brain/123.12.2512.

English

The Paradigm of Language Lateralization in the Brain: Natural Sciences Method for Linguistics *

Tatyana A. Bolgina –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: tatyana.bolgina@mail.ru

Svetlana A. Malyutina –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: s.malyutina@gmail.com

Victoria V. Zavyalova –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
National Research Centre “Kurchatov Institute”
1, Acad. Kurchatov Sqr.,
Moscow, 123182, Russia,
e-mail: z1315@mail.ru

Grigoriy A. Ignatev –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: ignatyeff.g@yandex.ru

Vadim L. Ushakov –
National Research Centre
“Kurchatov Institute”,
1, Acad. Kurchatov Sqr.,
Moscow, 123182, Russia,
National Research Nuclear University
MEPhI, 31, Kashirskoe Highway,
Moscow, 115409, Russia
e-mail: tiuq@yandex.ru

Yulia S. Akinina –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: jakinina@hse.ru

Mariya V. Ivanova –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: mkolman@yandex.ru

Olga V. Dragoy –
National Research University
“Higher School of Economics”
21/4-1, Staraya Basmanaya Str.,
Moscow, 105066, Russia
e-mail: odragoy@hse.ru

*

The work was financially supported by RFBR (project 15-06-08516).

Abstract

The goal of the study was to design a speech localizer, which can reliably identify brain areas associated with speech comprehension and production. While functional magnetic resonance imaging experiments, the testees were reading aloud specially structured sentences (in Russian), completing them with suitable words. According to the result of the paradigm test, all subjects (15 persons) have shown activation in the brain areas relevant to the language processing (inferior frontal and middle temporal gyri). Moreover, the localizer allowed to observe the individual variability of language lateralization. Thus, the developed paradigm can serve as an universal tool for the determination of language lateralization in the brain and can be used in further fundamental and clinical research.

Keywords: speech localizer, lateralization of language, handedness.

References

1. **A.R. Luria**
Basic problems of neurolinguistics, Ser. Janua Linguarum, Ser. Maior, 73, Transl. B. Haigh, De Gruyter Mouton, 1976, 398 pp.
DOI: 10.1515/9783110800159.
2. **K. Gloning**
Neuropsych., 1977, 15(2), 355.
3. **A. Basso, M. Farabola, M.P. Grassi, M. Laiacona, M.E. Zanobio**
Brain and Language, 1990, 38(2), 233.
DOI: 10.1016/0093-934X(90)90113-U.
4. **D. Kimura**
Hum. Neurobiol., 1983, 2(3), 147.
5. **M. Hund-Georgiadis, U. Lex, A.D. Friederici, D.Y. von Cramon**
Exp. Brain Res., 2002, 145(2), 166. DOI: 10.1007/s00221-002-1090-0.
6. **J.P. Szaflarski, J.R. Binder, E.T. Possing, K.A. McKiernan, B.D. Ward, T.A. Hammeke**
Neurology, 2002, 59(2), 238. DOI: 10.1212/WNL.59.2.238.
7. **N. Tzourio-Mazoyer, L. Petit, A. Razafimandimby, F. Crivello, L. Zago, G. Jobard, M. Joliot, E. Mellet, B. Mazoyer**
J. Neurosci., 2010, 30(40), 13314.
DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2593-10.2010.
8. **R. Hancock, T.G. Bever**
Biolinguistics, 2013, 7, 75.
9. **J. Wada, T. Rasmussen**
J. Neurosurg., 1960, 17(2), 266.
10. **C. Mendez Orellana, E. Visch-Brink, M. Vernooij, S. Kalloë, D. Satoer, A. Vincent, A. van der Lugt, M. Smits**
AJNR: Am. J. Neuroradiol., 2015, 36(3), 518. DOI: 10.3174/ajnr.A4147.
11. **G.A. Ignatev, R.M. Vlasova, Yu.S. Akinina, V.V. Zavyalova, V.L. Ushakov, M.V. Ivanova, O.V. Dragoy**
In *Proc. 3rd Poster Conference "Cognitive science in Moscow: new research" ["Kognitivnaya nauka v Moskve: novye issledovaniya"]*, (Moscow, 16 June, 2015), Eds E.V. Pechenkova, M.V. Falikman, Moscow, BukiVedi Publ., 2015, pp. 158–164 (in Russian).
12. **R.C. Oldfield**
Neuropsychologia, 1971, 9(1), 97. DOI: 10.1016/0028-3932(71)90067-4.
13. **D.J. Townsend, C. Carrithers, T.G. Bever**
Brain and Language, 2001, 78(3), 308. DOI: 10.1006/brln.2001.2469.
14. **S. Knecht, B. Dräger, M. Deppe, L. Bobe, H. Lohmann, A. Flöel, E.-B. Ringelstein, H. Henningsen**
Brain: J. Neur., 2000, 123(12), 2512. DOI: 10.1093/brain/123.12.2512.

Универсальные морфо-психотипы человека: адаптация к условиям среды и оптимизация репродуктивного успеха *

М.Л. Бутовская

Обобщены данные по морфологическим и поведенческим показателям маскулинности в нескольких традиционных африканских популяциях и в выборке московских студентов. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что соотношение двух контрастных морфо-психотипов у мужчин варьирует в зависимости от особенностей экологии и культурных традиций, прежде всего связанных с практикой полигамии и применения агрессии на внутригрупповом и межгрупповом уровнях. Мужчины с более низким пальцевым индексом, более маскулинные по пропорциям лица характеризовались более высокой самооценкой по агрессии. В условиях традиционных обществ, при отсутствии современных средств контрацепции, репродуктивный успех мужчин, выраженный в числе потомков, достоверно зависел от возраста, самооценки по агрессии и экспрессии гена рецептора андрогенов. Сделан вывод о том, что маскулинность (морфологическая и поведенческая) поддерживалась отбором в человеческих популяциях. Однако наряду с агрессивностью и напористостью во многих человеческих популяциях действовал также отбор на отцовское поведение.

Ключевые слова: морфо-психотипы, маскулинность лица, пальцевой индекс, черты личности, репродуктивный успех.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-06-00223, 13-06-00393 и 10-06-00010).

Какими признаками определяется внешнее сходство? Каким образом внешность сочетается с особенностями поведения и репродуктивным успехом? Для антропологов эти вопросы стары как мир и звучат, по меньшей мере, с конца XVIII в., когда Лафатер опубликовал трактат под названием «Физиогномические фрагменты», в котором указывал, что внутреннюю сущность человека можно оценить по чертам лица. Поисками связи между соматическими и психологическими признаками занимались френологи XIX в. во главе с выдающимся анатомом того времени Ф. Галлем. В дальнейшем, невзирая на многочисленные критические замечания, разработка этой тематики была продолжена судебным психиатром Ч. Ламброзо, который на основе выборки из 3839 человек, осужденных за различные преступления попытался типологизировать связи между конституцией и особенностями поведения. Хотя выводы Ламброзо носили чисто умозрительный характер, он вошел в историю как родоначальник криминалистического направления в антропологии. Новый импульс в исследовании взаимосвязи психосоматических признаков дали работы немецкого психиатра Э. Кречмера уже в XX в. Кречмер предложил комплексную психосоматическую конституциональную схему, указывая на определенные связи между телосложением и психикой. В середине XX в. широкую популярность получили работы У. Шелдона, разработавшего психосоматическую схему темперамента человека. Хотя схемы, предложенные Кречмером и Шелдоном, до сих пор используются некоторыми антропологами, они широко критику-

ются специалистами из-за их очевидной статичности. Основная проблема данных классификаций состоит в том, что авторы полностью концентрируются на изначальной заложенности конкретных соматических и психологических характеристик, игнорируя роль среды и социальных факторов в формировании психики человека, равно как и особенности индивидуального развития в онтогенезе.

В российской науке существуют давние традиции рассмотрения морфологической и поведенческой составляющих человека с учетом популяционных характеристик, сформированных окружающей природной и социальной средой. Так, в своей классической работе о типах характера и их значении в эволюции человека, особенно на стадии *Homo sapiens* и его ближайших предков, Я.Я. Рогинский подчеркивал, что на



БУТОВСКАЯ
Марина Львовна
профессор,
Институт этнологии
и антропологии РАН

стадии неантропа социальные закономерности приобрели господствующее значение по отношению к морфологической эволюции. При этом, однако, «человек полностью сохранил свою связь с природой и сам остался ее частью» [1]. Именно благодаря сложным общественным отношениям с их многоплановостью, иерархией и пластичностью, появилась возможность проявиться новым, разнообразным свойствам человеческой психики, в конечном итоге формирующим характер. Я.Я. Рогинский рассматривает соотношение биологических и социальных факторов формирования характера и выделяет три главных категории психических различий человека: темперамент (определяющийся наследственностью), нравы (обусловленные общественной жизнью личности) и «вековые типы характера», не имеющие временных и государственных границ [1]. В той же работе делаются предположения о связи темперамента с оптимальным выбором профессии, а также о критериях профотбора с учетом специфических (врожденных) личностных особенностей.

Мы изучаем отдельные аспекты этой проблемы. В частности, наличие универсальных морфо-психотипов в человеческих популяциях и их связь с репродуктивным успехом [2–4]. Последнее обстоятельство явилось решающим при выборе основного места наших полевых исследований – Северной Танзании. Важное обстоятельство: традиционные популяции, с которыми мы работаем в Африке, не пользуются средствами современной контрацепции. Следовательно, количество рожденных потомков здесь не регулируется искусственным путем (контрацептивы) и определяется комплексом «естественных» факторов: здоровьем, возрастом, социальным статусом, родительскими качествами, умением добывать пищу и защищать семью. Наряду с африканскими данными, в рамках проектов по

изучению универсальных морфо-психотипов нами проведены исследования среди московской молодежи (студенты) и молодых людей, профессионально занимающихся единоборствами [5–9]. Эти данные позволили понять общие тенденции взаимосвязи морфологических и поведенческих показателей и выявить комплекс показателей, ассоциирующихся с успешностью в спорте.

Для оценки половых различий по форме и строению лица используют различные индексы, отражающие этот уровень. Предполагается, что наличие более высокого уровня тестостерона определяет формирование черт, характерных для мужского пола во многих популяциях (широкие скулы, массивная челюсть и подбородок, выступающие надбровные дуги, длинная нижняя часть лица и тонкие губы). Ряд авторов указывает на взаимосвязь между маскулинностью лица и непосредственно показателями свободного тестостерона в зрелом возрасте. Гипотеза иммунокомпетентности предполагает, что маскулинность является надежным индикатором сопротивляемости организма болезням [10]. В рамках этих представлений только мужчины с высоким уровнем иммунокомпетентности могут «позволить себе» высокий уровень тестостерона и, следовательно, высокую маскулинность (которая определяется уровнем тестостерона), являющуюся точным показателем наследуемого иммунитета к патогенной среде и, соответственно, показателем «хороших генов» [11].

Тестостерон может оказывать большее влияние на иммунную систему, чем эстрогены, поэтому выраженность полового диморфизма более значительна в мужской части популяции. Кроме того, само формирование организма по мужскому типу требует включения специального гена SRY (определяющая пол область Y-хромосомы). Формирование же феминных черт не требует столько физиологических затрат от организма, сколько требует формирование маскулинных признаков [12], и развитие женского пола идет по базовому признаку. Эстрогены связаны с формированием молочных желез и такими заболеваниями, как рак матки и яичников, но их связь с иммунной системой намного слабее, чем тестостерона. Считается, что уровень эстрогенов в женском организме не является столь значимым индикатором физического здоровья, как уровень тестостерона в мужском. Обратим, однако, внимание на тот факт, что при подавлении клеточного иммунитета эстрогены способны повышать гуморальный иммунитет [13].

Эволюционные психологи предлагают рассматривать половой диморфизм как адаптивный механизм для поиска здоровых партнеров [11, 14]. Мужчины



Рис. 2. Портрет мужчины хадза.



Рис. 3. Портрет мужчины исанзу.



Рис. 4. Портрет мужчины датога.

мужчин оказался достоверно ниже, чем у женщин. При этом у исанзу он был в целом ниже, чем у хадза и датога [2, 8]. Учитывая возможную связь между уровнем пренатального тестостерона и пальцевым индексом [23], полученные нами результаты по выраженности полового диморфизма пропорций лица также можно объяснить высоким в целом уровнем пренатального тестостерона у мужчин исанзу. Дополнительным аргументом в пользу такого предположения можно считать данные, полученные ранее на небольшой выборке мальчиков из европейской популяции. Мейндл с соавторами продемонстрировали отрицательную связь между маскулинностью лица и пальцевым индексом [24].

Кажущиеся несоответствия по выраженности отдельных характеристик полового диморфизма лица у представителей трех исследованных нами африканских популяций объяснимы, поскольку форма, ассоциируемая с «маскулинностью» и «фемининностью», является обобщенным итогом воздействия как минимум двух факторов: уровня пренатальных стероидных гормонов и эффекта хромосомного полового диморфизма [25]. При этом указанные факторы могут не всегда действовать в одном и том же направлении. По данным Финка с соавторами эффект хромосомного полового диморфизма сказывается в первую очередь в

направлении развития большей высоты нижней челюсти (нижней части лица в целом), а эффект пренатальной андрогенизации проявляется в виде общей массивности (робустности) всего лица.

В целом следует отметить, что полигинные популяции (датога, исанзу) характеризовались более выраженным диморфизмом лица и более низким пальцевым индексом на правой руке по сравнению с хадза, практикующими сериальную моногамию.

Наряду с морфологическими показателями маскулинности–фемининности в поведении человека также прослеживаются половые различия по комплексу психологических показателей. Эти данные были получены при исследовании московской популяции [5, 7, 9]. Основной упор был сделан на поиски возможных связей между морфологическими и поведенческими характеристиками для мужской и женской выборки на примере выборки московских студентов [9].

Корреляционный анализ провели отдельно для юношей и девушек. В целом установлено, что низкий пальцевый индекс коррелировал с низкими баллами по шкале «Нейротизм». Относительная ширина плеч коррелировала с более высокими баллами по шкале «Добросовестность». Мужчины с низким, то есть маскулинным, пальцевым индексом имели большие значения индекса массы тела, более атлетическое сложение, большую мышечную массу, были более склонны к риску и агрессии. Для юношей показана отрицательная связь между баллами по шкале «Добросовестность» и высотой нижней челюсти (показатель маскулинности, табл. 1). Установлена связь между значениями пальцевых индексов на правой и левой руках с чертами личности у женщин (табл. 2). Женщины с более низким (более маскулинным) пальцевым индексом на правой руке характеризовались достоверно более высокой экстравертностью.

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа между морфологическими и психологическими параметрами (юноши, московская выборка, $n = 164$)

Признаки	НЕО Нейротизм (баллы)	НЕО Добросо- вестность (баллы)	Склонность к риску: Раскованное поведение (баллы)	Вербальная агрессия (баллы)	Индекс массы тела BMI (кг/м ²)
L2D:4D	0.202 (0.011)	–	–	–	-0.273 (0.032)
Отношение плечи/бедро	–	0.223 (0.025)	–	–	–
Индекс массы тела BMI (кг/м ²)	–	–	0.325 (0.011)	0.281 (0.026)	–
F_D9_D8	–	-0.182 (0.021)	–	–	–

Условные обозначения: L2D:4D – пальцевой индекс на левой руке; F_D9_D8 – относительная высота нижней челюсти; НЕО – пятифакторный личностный опросник (Большая пятёрка), разработан Р. МакКрае и П. Коста; риск – опросник М. Закермана (Склонность к риску), шкала «Раскованное поведение»; вербальная агрессия – шкала «Вербальная агрессия» опросника на склонность к агрессии, разработанного А. Бассом и М. Перри.

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа между морфологическими и психологическими параметрами (девушки, московская выборка, $n = 195$)

Признаки	R2D:4D	L2D:4D	Индекс массы тела BMI (кг/м ²)	Обобщенный показатель ПД лица
НЕО: Нейротизм	–	0.219 (0.028)	–	–
НЕО: Экстраверсия (баллы)	-0.205 (0.040)	–	–	–
НЕО: Добро- совестность (баллы)	–	-0.302 (0.002)	–	–
Склонность к рisku: Поиск опасностей (баллы)	–	–	0.26 (0.020)	–
Враждебность (баллы)	–	0.252 (0.014)	–	-0.227 (0.039)

Условные обозначения: ПД – половой диморфизм; R2D:4D – пальцевой индекс на правой руке; L2D:4D – пальцевой индекс на левой руке; враждебность – шкала «Враждебность» опросника на склонность к агрессии, разработанного А. Бассом и М. Перри.

Женщины с более высоким (фемининным) пальцевым индексом на левой руке отличались достоверно более высокими баллами по нейротизму и враждебности. Напротив, женщины с более низкими пальцевыми индексами на левой руке имели более высокие баллы по добросовестности.

В результате комплексного исследования московских студентов нами были выявлены следующие

комплексы морфологических и психологических характеристик, ассоциированные с мужским и женским полами. Более маскулинные юноши отличались низкими показателями пальцевого индекса, широкими плечами, высокими значениями индекса массы тела, значительным развитием надбровного рельефа. В отношении пропорций лица к портрету маскулинного мужчины добавляются крупные размеры нижней челюсти. На полюсе маскулинности в отношении поведенческих признаков сгруппировались следующие показатели: хорошая стрессоустойчивость, экстравертность, индивидуализм (нежелание кооперироваться), большая добросовестность, выраженное стремление к лидерству, склонность к рискованному поведению во всех его проявлениях, повышенная агрессивность по всем показателям, за исключением гнева.

Более фемининные женщины характеризовались следующим комплексом черт: высокими значениями пальцевого индекса, относительно узкой талией, слабым развитием надбровного рельефа, низким индексом массы тела, значительным выступанием скул по отношению к нижней челюсти, высоким лбом. Фемининных женщин отличали следующие особенности поведения: большой нейротизм, склонность к кооперации, меньшая добросовестность, избегание рискованного поведения, устойчивость к рутинным действиям, большая враждебность. В обобщенном виде комплексы морфо-психологических признаков, ассоциированных с полом, представлены на рисунке 5.

Данные многих авторов свидетельствуют о том, что мужчины с более маскулинными признаками воспринимаются женщинами как более привлекательные потенциальные партнеры, носители «хороших генов» (в первую очередь это касается кратковременного партнерства). Однако при выборе долговременных партнеров женщины часто предпо-

Корреляционный анализ в рамках каждого пола (Бутовская и др., 2012, 2014, 2015; Просикова и др., 2015)

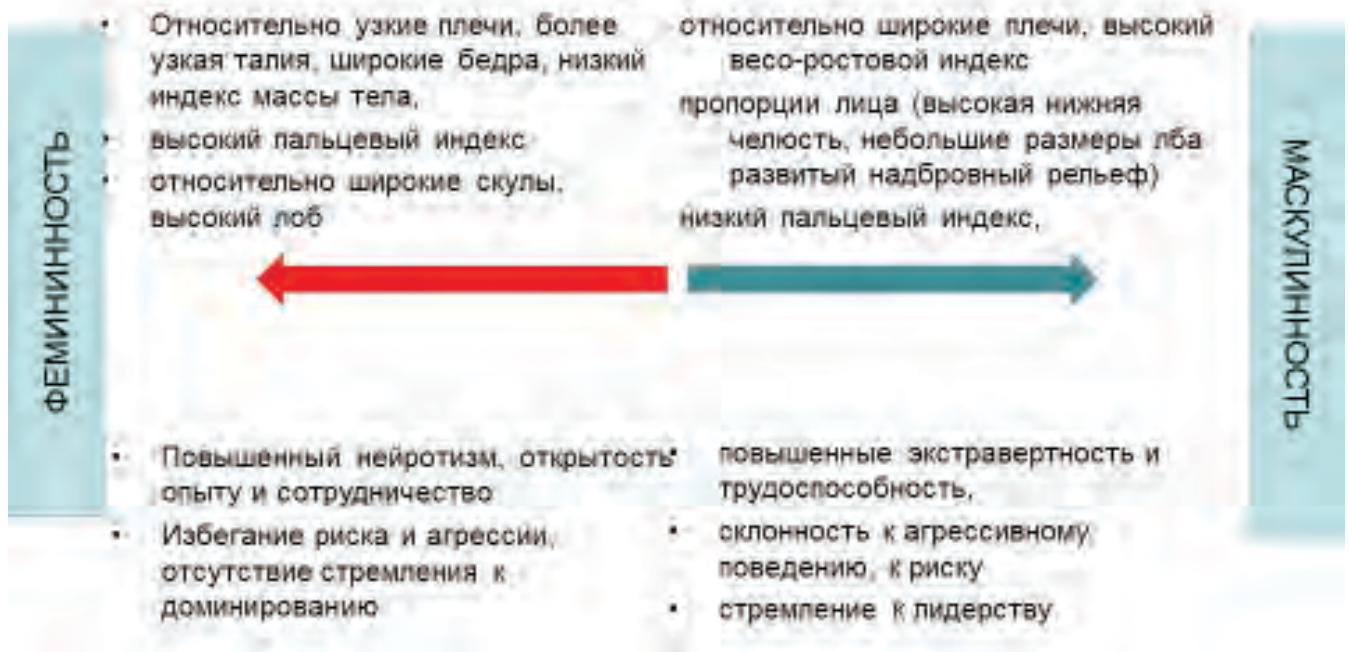


Рис. 5. Комплекс маскулинных и фемининных морфологических и поведенческих признаков (по данным [13]).

читают менее маскулинных мужчин, которые чаще оказываются хорошими отцами [14]. «Хорошие гены», или хорошие отцовские качества выступают как две альтернативные эволюционно стабильные стратегии в истории человека. В популяциях, практикующих полигинию, «хорошие гены» выступают как ведущий мужской комплекс, тогда как в популяциях, ориентированных на моногамию, ведущим оказывается комплекс «хорошего отца». Каждый из вариантов обеспечивал максимальное выживание потомства (и, следовательно, максимальный репродуктивный успех). Одним из индикаторов этих альтернативных стратегий является пальцевый индекс. Наши данные по хадза показывают, что мужчины с более высоким пальцевым индексом чаще оказывались неформальными лидерами бэндов и более заботливыми отцами [25]. Кроме того, у них было в среднем больше детей и дети выживали

лучше, чем у мужчин с более низким пальцевым индексом. В качестве альтернативы отбора в направлении «хороших генов» приведем полигинных датого. Мужчины, демонстрирующие более высокий репродуктивный успех, характеризовались большей маскулинностью, агрессивностью и более эффективным геном рецепторов андрогенов [3, 26, 27].

Анализ данных по африканским традиционным популяциям и выборке московских студентов позволяет сделать несколько выводов относительно стабильности морфо-психологических комплексов, распространенных среди мужской и женской частей в пределах каждой популяции. При этом по нашим данным соотношение двух контрастных морфо-психотипов у мужчин варьирует в зависимости от особенностей экологии и культурных традиций, прежде всего связанных с практикой полигамии и применения агрессии на внутри- и межгрупповом уровнях. Мужчины с более низким пальцевым индексом, более маскулинные по пропорциям лица характеризовались более высокой самооценкой по агрессии [3]. В условиях традиционных обществ, при отсутствии современных средств контрацепции, репродуктивный успех мужчин, выраженный в числе потомков достоверно зависел от возраста, самооценки по

агрессии и числа триплетных повторов CAG AR (гена андрогенового рецептора) [3]. Мужчины с меньшим числом CAG-повторов гена AR имели достоверно больше детей. Связь между этими показателями была опосредована уровнем агрессии (более высоким у обладателей меньшего числа повторов CAG AR).

Таким образом, наши данные в комплексе с результатами недавних исследований других авторов подтверждают гипотезу о наличии взаимосвязи между морфологическими и поведенческими характеристиками, определяющими маскулинность [3, 8, 20, 28]. Для мужчин показана взаимосвязь генетических факторов (экспрессии гена рецепторов андрогенов) с самооценкой по агрессии и количеством детей. Это позволяет предположить, что маскулинность (морфологическая и поведенческая) поддерживалась отбором в человеческих популяциях. Однако, наряду с агрессивностью и напористостью (умением постоять за себя и членов своей группы), во многих человеческих популяциях действовал также отбор на отцов-

ское поведение (непосредственное взаимодействие с детьми и вклад в их воспитание). Эти две эволюционно стабильные стратегии играли значительную роль в формировании современного человека в прошлом и продолжают функционировать в наши дни. Наличие уравнивающих друг друга стратегий позволяет понять причины, по которым уровень полового диморфизма у современного человека остается относительно стабильным.

Автор выражает благодарность Комиссии по науке и технике Танзании, а также всем испытуемым за согласие принять участие в исследованиях, доброе отношение к нам и проявленную толерантность.

Литература

1. Я.Я. Рогинский
Проблемы антропогенеза: Учебное пособие, Москва, Высшая школа, 1977, 263 с.
2. M.L. Butovskaya, V.N. Burkova, D.V. Karelin, B. Fink
Am. J. Hum. Biol., 2015, 27(5), 620. DOI: 10.1002/ajhb.22718.
3. M.L. Butovskaya, O.E. Lazebny, V.A. Vasilyev, D.A. Dronova, D.V. Karelin, A.Z. Mabulla, D.V. Shibalev, T.K. Shackelford, B. Fink, A.P. Ryskov
PLoS ONE, 2015, 10(8), e0136208.
DOI: 10.1371/journal.pone.0136208.
4. M.L. Butovskaya, V.A. Vasilyev, O.E. Lazebny, E.M. Suchodolskaya, D.V. Shibalev, A.M. Kulikov, D.V. Karelin, V.N. Burkova, A. Mabulla, A.P. Ryskov
Sci. Rep., 2013, 3, 3148. DOI: 10.1038/srep03148.
5. М.Л. Бутовская, Е.В. Веселовская, А.С. Прудникова,
Археология, этнография и антропология Евразии, 2010, №4(44), 143.
6. М.Л. Бутовская, Е.В. Веселовская, Е.З. Година, А.В. Анисимова (Третьяк), Л.В. Силаева
Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2011, №2, 4.
7. М.Л. Бутовская, Е.В. Веселовская, А.В. Кондратьева, Е.А. Просикова
Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2012, №2, 29.
8. М.Л. Бутовская, Е.В. Веселовская, Е.А. Постникова
Экспериментальная психология, 2015, 8(4), 77.
DOI: 10.17759/exppsy.2015080406.
9. Е.А. Просикова, М.Л. Бутовская, Е.В. Веселовская
Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2015, №3, 59.
10. I. Folstad, A.J. Karter
Am. Nat., 1992, 139(3), 603. DOI: 10.1086/285346.
11. М.Л. Бутовская
Антропология пола, Фрязино, Век 2, 2013, 256 с.
12. G. Rhodes, J. Chan, L.A. Zebrowitz, L.W. Simmons
Proc. R. Soc. Lond. B, 2003, 270(Suppl. 1), S93. DOI: 10.1098/rsbl.2003.0023.
13. J. Alexander, W.H. Stimson
Parasitology Today, 1988, 4(7), 189. DOI: 10.1016/0169-4758(88)90077-4.
14. М.Л. Бутовская, Е.В. Веселовская, В.В. Ростовцева, Н.Б. Сельверова, И.В. Ермакова
Журнал общей биологии, 2012, 73(4), 302.
15. A.C. Little, B.C. Jones, I.S. Penton-Voak, D.M. Burt, D.I. Perrett
Proc. R. Soc. Lond. B, 2002, 269(1494), 1095. DOI: 10.1098/rspb.2002.1984.
16. I.S. Penton-Voak, B.C. Jones, A.C. Little, S. Baker, B. Tiddeman, D.M. Burt, D.I. Perrett
Proc. R. Soc. Lond. B, 2001, 268(1476), 1617. DOI: 10.1098/rspb.2001.1703.
17. B. Fink, I. Penton-Voak
Curr. Dir. Psychol. Sci., 2002, 11(5), 154. DOI: 10.1111/1467-8721.00190.
18. C.E. Lefevre, G.J. Lewis, D.I. Perrett, L. Penke
Evol. Hum. Behav., 2013, 34(4), 273.
DOI: 10.1016/j.evolhumbehav.2013.03.005.
19. A.C. Little, B.C. Jones, C. Waitt, B.P. Tiddeman, D.R. Feinberg, D.I. Perrett, C.L. Apicella, F.W. Marlowe
PLoS ONE, 2008, 3(5), e2106. DOI: 10.1371/journal.pone.0002106.
20. М.Л. Бутовская, Е.А. Постникова, Е.А. Веселовская, А.М. Маурер, А.Б. Савинецкий, Г.В. Сыроежкин
Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2014, №2, 18.
21. М.Л. Бутовская, Д.В. Карелин, В.Н. Буркова
Азия и Африка сегодня, 2012, №11, 51.
22. М.Л. Бутовская, В.Н. Буркова, Ю.Н. Феденко
Этнографическое обозрение, 2015, №2, 99.
23. B. Crewther, C. Cook, L. Kilduff, J. Manning
Early Hum. Dev., 2015, 91(8), 451.
DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2015.04.011.
24. K. Meindl, S. Windhager, B. Wallner, K. Schaefer
Proc. R. Soc. Lond. B, 2012, 279(1737), 2457.
DOI: 10.1098/rspb.2011.2351.
25. М.Л. Бутовская, В.Н. Буркова
В Сб. Антропология социальных перемен. Исследования по социально-культурной антропологии: сборник ст., под ред. Э.-Б.М. Гучиновой, Г.А. Комаровой, Москва, Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2011, с. 365–386.
26. М.Л. Бутовская
Этнографическое обозрение, 2011, №4, 85.
27. М.Л. Бутовская, Д.В. Карелин, В.Н. Буркова
Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2012, №4, 70.
28. B. Fink, K. Grammer, P. Mitteroecker, P. Gunz, K. Schaefer, F.L. Bookstein, J.T. Manning
Proc. R. Soc. Lond. B, 2005, 272(1576), 1995.
DOI: 10.1098/rspb.2005.3179.

English

Universal Morpho-Psychotypes of Humans: Adaptation to Environment and Optimization of Reproductive Success *

Marina L. Butovskaya –

Professor,

Institute of Ethnology and Anthropology, RAS

32a, Leninskiy Ave., Moscow, 119991, Russia

e-mail: marina.butovskaya@gmail.com

Abstract

This paper summarizes data on morphological and behavioral indicators of the masculinity in several traditional African populations and in a sample of Moscow students. Obtained data revealed that the ratio of the two contrasting morpho-psychological types in men varies depending on the characteristics of the environment and cultural traditions, primarily associated with the practice of polygamy and the use of aggression at intragroup and intergroup levels. Men with lower 2D:4D digit ratio and with more masculine facial features were characterized by the higher self-esteem on aggression. In traditional societies, where modern methods of contraception are not practised, the reproductive success of men (expressed in the number of their descendants) was authentically dependent on the age, the self-esteem on the aggression and expression of the androgen receptor gene. The conclusion was drawn that the masculinity (both morphological and behavioral) is maintained by the natural selection in human populations. In many human populations, however, along with the aggressiveness and the assertiveness, the paternal behavior was a selection factor as well.

Keywords: morpho-psychotypes, facial masculinity, 2D:4D digital ratio, personality traits, reproductive success.

References

1. Ya.Ya. Roginskiy
Anthropogenesis Problems: Tutorial [Problemy antropogeneza: Uchebnoe posobie], Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1977, 263 pp. (in Russian).
2. M.L. Butovskaya, V.N. Burkova, D.V. Karelin, B. Fink
Am. J. Hum. Biol., 2015, 27(5), 620. DOI: 10.1002/ajhb.22718.
3. M.L. Butovskaya, O.E. Lazebny, V.A. Vasilyev, D.A. Dronova, D.V. Karelin, A.Z. Mabulla, D.V. Shibalev, T.K. Shackelford, B. Fink, A.P. Ryskov
PLoS ONE, 2015, 10(8), e0136208.
DOI: 10.1371/journal.pone.0136208.
4. M.L. Butovskaya, V.A. Vasilyev, O.E. Lazebny, E.M. Suchodolskaya, D.V. Shibalev, A.M. Kulikov, D.V. Karelin, V.N. Burkova, A. Mabulla, A.P. Ryskov
Sci. Rep., 2013, 3, 3148. DOI: 10.1038/srep03148.
5. M.L. Butovskaya, E.V. Veselovskaya, A.V. Prudnikova
Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia, 2010, 38(4), 143 (in Russian).
6. M.L. Butovskaya, E.V. Veselovskaya, E.Z. Godina, A.V. Anisimova (Tretyak), L.V. Silaeva
Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria XXIII. Antropologia [Bulletin of Moscow University. Series XXIII. Anthropology], 2011, №2, 4 (in Russian).
7. M.L. Butovskaya, E.V. Veselovskaya, E.A. Prosikova, A.V. Kondratieva
Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria XXIII. Antropologia [Bulletin of Moscow University. Series XXIII. Anthropology], 2012, №2, 29 (in Russian).
8. M.L. Butovskaya, E.V. Veselovskaya, E.A. Postnikova
Experimental Psychology (Russia) [Eksperimentalnaya psikhologiya], 2015, 8(4), 77 (in Russian). DOI: 10.17759/exppsy.2015080406.
9. E.A. Prosikova, M.L. Butovskaya, E.V. Veselovskaya
Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria XXIII. Antropologia [Bulletin of Moscow University. Series XXIII. Anthropology], 2015, №3, 59.
10. I. Folstad, A.J. Karter
Am. Nat., 1992, 139(3), 603. DOI: 10.1086/285346.
11. M.L. Butovskaya
Anthropology of Gender [Antropologiya pola], Fryazino, Vek 2 Publ., 2013, 256 pp. (in Russian).
12. G. Rhodes, J. Chan, L.A. Zebrowitz, L.W. Simmons
Proc. R. Soc. Lond. B, 2003, 270(Suppl. 1), S93. DOI: 10.1098/rsbl.2003.0023.
13. J. Alexander, W.H. Stimson
Parasitology Today, 1988, 4(7), 189. DOI: 10.1016/0169-4758(88)90077-4.
14. M.L. Butovskaya, E.V. Veselovskaya, V.V. Rostovtseva, N.B. Selverova, I.V. Ermakova
Biology Bulletin Reviews, 2013, 3(3), 196. DOI: 10.1134/S2079086413030031.
15. A.C. Little, B.C. Jones, I.S. Penton-Voak, D.M. Burt, D.I. Perrett
Proc. R. Soc. Lond. B, 2002, 269(1494), 1095. DOI: 10.1098/rspb.2002.1984.
16. I.S. Penton-Voak, B.C. Jones, A.C. Little, S. Baker, B. Tiddeman, D.M. Burt, D.I. Perrett
Proc. R. Soc. Lond. B, 2001, 268(1476), 1617. DOI: 10.1098/rspb.2001.1703.
17. B. Fink, I. Penton-Voak
Curr. Dir. Psychol. Sci., 2002, 11(5), 154. DOI: 10.1111/1467-8721.00190.
18. C.E. Lefevre, G.J. Lewis, D.I. Perrett, L. Penke
Evol. Hum. Behav., 2013, 34(4), 273.
DOI: 10.1016/j.evolhumbehav.2013.03.005.
19. A.C. Little, B.C. Jones, C. Waitt, B.P. Tiddeman, D.R. Feinberg, D.I. Perrett, C.L. Apicella, F.W. Marlowe
PLoS ONE, 2008, 3(5), e2106. DOI: 10.1371/journal.pone.0002106.
20. M.L. Butovskaya, E.A. Postnikova, E.V. Veselovskaya, A.M. Maurer, A.B. Savinetsky, G.V. Syroejkin
Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria XXIII. Antropologia [Bulletin of Moscow University. Series XXIII. Anthropology], 2014, №2, 18.
21. M.L. Butovskaya, V.N. Burkova, D.V. Karelin
Asia and Africa today [Aziya i Afrika segodnya], 2012, №11, 51 (in Russian).
22. M.L. Butovskaya, V.N. Burkova, J.N. Fedenok
Etnograficheskoe Obozrenie [Ethnographic Review Journal], 2015, №2, 99 (in Russian).
23. B. Crewther, C. Cook, L. Kilduff, J. Manning
Early Hum. Dev., 2015, 91(8), 451. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2015.04.011.
24. K. Meindl, S. Windhager, B. Wallner, K. Schaefer
Proc. R. Soc. Lond. B, 2012, 279(1737), 2457. DOI: 10.1098/rspb.2011.2351.
25. M.L. Butovskaya, V.N. Burkova
In Coll. Art. "Anthropology of Social Change. Research on Socio-Cultural Anthropology" [Antropologiya sotsialnykh peremen. Issledovaniya po sotsiokulturnoy antropologii: sbornik statey], Eds E.-B.M. Guchinova, G.A. Komarova, Moscow, ROSSPEN Publ., 2011, pp. 365–386 (in Russian).
26. M.L. Butovskaya
Etnograficheskoe Obozrenie [Ethnographic Review Journal], 2011, №4, 85 (in Russian).
27. M.L. Butovskaya, D.V. Karelin, V.N. Burkova
Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria XXIII. Antropologia [Bulletin of Moscow University. Series XXIII. Anthropology], 2012, №4, 70.
28. B. Fink, K. Grammer, P. Mitteroecker, P. Gunz, K. Schaefer, F.L. Bookstein, J.T. Manning
Proc. R. Soc. Lond. B, 2005, 272(1576), 1995.
DOI: 10.1098/rspb.2005.3179.

*

The work was financially supported by RFBR (projects 16-06-00223, 13-06-00393 and 10-06-00010).

Возможности и условия применимости формализованного анализа качественных данных в социологических исследованиях *

С.Г. Климова, М.А. Михеенкова, В.К. Финн

Описаны базовые принципы и основные процедуры работы ДСМ-метода (от англ. JSM – John Stuart Mill) автоматизированной поддержки научных исследований и опыт его использования применительно к задачам эмпирической социологии. ДСМ-метод является инструментом формализованного качественного анализа данных и применяется для анализа каузальных зависимостей в массиве данных, представленных позитивными, негативными и неопределенными примерами отношений «субъект \Rightarrow поведение». Разработанный авторами пакет документов включает алгоритмически и программно реализованные процедуры индуктивного вывода для порождения детерминант социального поведения, процедуры вывода по аналогии для его прогнозирования и абдуктивные процедуры принятия порожденных гипотез. Метод позволяет работать с малыми выборками и качественными (неколичественными) данными, выявлять эмпирическую структуру обобщающих понятий и проводить типологический анализ, элементами которого являются реальные индивидуумы, а не их характеристики, как при статистическом типологическом анализе.

Ключевые слова: фальсификация, индукция, аналогия, абдукция, интеллектуальный анализ данных, анализ зависимостей, формальные средства, ДСМ-метод.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-07-02402).

Основные принципы работы ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований

ДСМ-метод (от англ. JSM – John Stuart Mill) – логико-комбинаторный (нестатистический) метод, основанный на использовании современных логических средств и предназначенный для анализа каузальных зависимостей между комбинациями признаков (характеристик объектов) и искомым эффектом/множеством эффектов (свойств объектов). Предполагается, что эти зависимости реципрокны и не случайны. ДСМ-метод является теоретически обоснованным и конструктивно реализованным аппаратом для выявления причинно-следственных зависимостей на основе эмпирической индукции, предсказания заранее неизвестных свойств новых объектов на основе структурной аналогии и абдуктивного объяснения баз фактов (БФ). Опишем кратко базовые положения метода.

1. Адекватное и результативное использование метода предполагает выполнение условий его применимости: сходство объектов (в том числе нечисловое) алгебраически определимо, исходное множество эмпирических фактов содержит примеры наличия

и отсутствия исследуемого эффекта ((+) и (-)-факты соответственно), а также примеры объектов, свойства которых заранее неизвестны. База фактов при этом содержит в неявном виде эмпирические зависимости относительно причин наличия/отсутствия свойств, извлечение которых из пополняемых баз фактов является основной задачей ДСМ-метода. Возможность/необходимость пополнения базы эмпирических данных (фактов) является принципиальным условием адекватного применения метода.

2. Эта задача решается применением ДСМ-рассуждений, формализованных средствами языка с дескриптивной и аргументативной функциями – для структурированного представления фактов для анализа их сходства и выявления причинных зависимостей и порождения на достаточном основании ново-



КЛИМОВА
Светлана Гавриловна
Институт социологии РАН



МИХЕЕНКОВА
Мария Анатольевна
Федеральный исследовательский
центр «Информатика
и управление» РАН



ФИНН
Виктор Константинович
Федеральный исследовательский
центр «Информатика
и управление» РАН

го знания соответственно. В языке формируется система исходных отношений $X \Rightarrow_1 Y$ («объект X демонстрирует/не демонстрирует эффект (свойство)/множество эффектов (свойств) Y »), на основе которой порождаются отношения $V \Rightarrow_2 W$ («структурный фрагмент объекта (подобъект) V есть причина наличия/отсутствия эффекта (свойства)/множества эффектов (свойств) W »).

3. ДСМ-рассуждения – специальный класс рассуждений, реализующий синтез познавательных процедур – эмпирической индукции (формальных расширений и уточнений индуктивных методов английского мыслителя Д.С. Милля [1]), структурной аналогии и абдуктивного рассуждения Ч.С. Пирса как средства принятия гипотез на основе объяснения начальных данных [2]. В основе ключевых для ДСМ-метода процедур индуктивного порождения гипотез о причинах лежит принцип сходства Милля: «Для каждого явления существует некоторая комбинация предметов или явлений, некоторое определенное стечение положительных или отрицательных обстоятельств, наличие которых постоянно вызывает это явление» [1, с. 268]. Этот принцип предполагает возможность исследования каузальности типа «структура–эффект» и может быть сформулирован как принцип каузального качественного анализа: «сходство фактов влечет наличие (отсутствие) изучаемого эффекта и его повторяемость». Иными словами, гипотетические причины наблюдаемых эффектов представляются в виде структурного (не метрического и не статистического) сходства фактов.

Кратко процесс ДСМ-рассуждения описывается следующим образом. На основе индуктивного анализа сходства имеющихся примеров типа «объект–свойство» порождаются гипотезы о причинах наличия тех или иных свойств. Порожденные гипотезы о причинах на основе

структурной аналогии переносятся на имеющиеся в распоряжении исследователя примеры объектов с неизвестными свойствами, порождая гипотезы о возможном их наличии. Процесс повторяется до стабилизации множества гипотез о причинах и свойствах. На заключительной стадии проводится проверка объяснительных возможностей порожденных гипотез относительно исходных данных. Это реализация абдуктивного объяснения и принятия гипотез.

4. Индукция в ДСМ-методе является непрямой, неперечислительной и контекстно зависимой. Это означает, что в посылки правил включены взаимно фальсифицирующие условия: если имеет место позитивная эмпирическая зависимость типа $V \Rightarrow_2 W$ (с оценкой +1) и не имеет места негативная (с оценкой -1), порождается позитивная гипотеза « V – причина W ». Соответственно, в противоположном случае порождается негативная гипотеза. Если из анализа БФ одновременно выявляются обе зависимости, порождается противоречивая гипотеза. В случае отсутствия зависимостей гипотеза остается неопределенной (с оценкой τ).

Индуктивный вывод может осуществляться «от причины – к следствию» (прямой: когда информативность представления объекта превышает информативность представления свойств) и «от следствия – к причине» (обратный, когда свойства описаны подробнее объектов). В задачах социологии прямой метод применяется при изучении поведения индивидуумов, обратный – при изучении мнений [3]. Таким образом, ДСМ-метод позволяет решать задачи выявления детерминаций поведения и, соответственно, его предсказания, а также построения типологизации социума на основе порожденных детерминант.

ДСМ-метод обладает гибкими возможностями выявления разных механизмов каузального вынуждения. Для этой цели используются различные индуктивные процедуры (и их комбинации – ДСМ-стратегии), образующие (будучи упорядоченными по отношению к логической выводимости) дистрибутивные решетки [4]. Развитием и усилением идеи объективизации результатов ДСМ-рассуждений является поиск эмпирических закономерностей: выделение инвариантного ядра, т.е. регулярно сохраняющихся отношений «причина–следствие» в последовательности вложенных баз фактов – наследование типа истинностных значений у индуктивных гипотез и гипотез-предсказаний (с использованием аналогии). Для выявления эмпирических закономерностей существенным оказывается выбор стратегий, наиболее адекватных эмпирической ситуации исследования.

Реализующие ДСМ-метод интеллектуальные системы (ИС-ДСМ) содержат средства извлечения знаний из БФ, а также объяснения имеющихся фактов на основании порожденных гипотез и способны выполнять дедуктивный вывод из исходных и полученных знаний (баз знаний (БЗ)). Архитектура ИС-ДСМ есть отражение фундаментального тезиса об основной задаче интеллектуальных систем как задаче «конструктивной имитации (возможной лишь до некоторой степени) и усиления познавательных способностей человека» (т.е. рациональных аспектов феноменологии естественного интеллекта) [5].

ДСМ-метод разработан совместно Всероссийским институтом научной и технической информации РАН (ВИНИТИ) и Российским государственным гуманитарным университетом (РГУ) и успешно применялся в различных областях (которые могут быть представлены как каузальные модели и удовлетворяют точно определенным условиям его применимости): в фармакологии, медицинской диагностике, криминалистике, робототехнике [6].

Применение ДСМ-метода для решения социологических задач

Первые эксперименты по адаптации ДСМ-метода для использования в эмпирической социологии были проведены в 1997–1998 гг. коллективом исследователей ВИНИТИ РАН (В.К. Финн, М.А. Михеенкова, Д.В. Панкратов) и Института социологии РАН (В.А. Ядов, С.Г. Климова, Е.Н. Данилова).

Мы рассматривали ДСМ-метод как средство решения социологических задач, которые не могут в достаточной мере решить методы математической статистики (широко представленные в пакете SPSS), с помощью которых тоже можно выявлять комплексы признаков и связи между ними. У последних есть существенные ограничения:

- методы математической статистики плохо работают на малых выборках;
- существует проблема вычленения прямых, косвенных и мнимых связей между признаками;
- невозможно сделать достоверные выводы о причинно-следственных связях между признаками;
- отсутствуют критерии реального существования сконструированных социологами типов [7].

Соответственно, объект изучения «рассыпается» на признаки, и адекватность социологического описания становится задачей не метода, а воображения исследователя. ДСМ-метод не имеет этих ограничений.

Первые эксперименты были направлены на выяснение связей между поведенческими готовностями (участвовать или не участвовать в забастовке) и ха-

рактеристиками респондентов.

Генеральная гипотеза состояла в следующем: субъекты, выбирающие ту или иную поведенческую стратегию, будут обладать близкими, похожими признаками (нормативные и ценностные установки, идентичность, психологические и статусные характеристики). При этом между поведенческими стратегиями и признаками, характеризующими респондентов, существуют в неявном виде позитивные и негативные зависимости (влияния) причинно-следственного типа.

Повторяющееся сочетание сходных признаков дает код, т.е. высказывание об объекте, а совокупность кодов – типологическую единицу. Мы исходили из того, что если в изучаемой совокупности совпадают характеристики у нескольких людей, то это может свидетельствовать о возможном наличии типа. Предполагалось также, что количество типов ограничено.

Сами данные опросов были структурированы в соответствии с требованиями метода. Эта работа включает:

- выбор пространства признаков для описания социального субъекта в соответствии с теоретической моделью;
- разработка средств формального представления результатов психологических тестов и социологических данных – характеристик субъекта, адекватных предлагаемому подходу.

Делается это так. Первичные (исходные) данные, полученные как ответы на вопросы интервью или тестов (в дальнейшем изложении мы называем их *переменными*), представляются таким образом, что определенная комбинация ответов дает комплексную характеристику (*признак*, который может принимать как числовое, так и нечисловое – качественное – значение). Признаки конструируются на основе знаний о связях между переменными. В свою

очередь, это знание можно получить двумя способами: либо с помощью факторного анализа, если база данных позволяет провести такой анализ, либо ДСМ-методом провести предварительные эксперименты, если определить в качестве эффекта какую-то интегральную характеристику. ДСМ-метод позволяет делать такую верификацию, и эта работа может быть промежуточной (как в нашем случае) или самостоятельной задачей.

Исходный массив эмпирических данных формируется таким образом, чтобы отношение «субъект \Rightarrow поведение» было представлено позитивными, негативными и неопределенными примерами. Позитивные примеры – это определенное поведение или готовность к нему (например голосовать, увольняться с работы, участвовать в акции протеста, эмигрировать из страны и пр.). Соответственно, негативные примеры – это отказ от предложенного действия, а неопределенные примеры – неуверенность респондента в своей готовности вести себя тем или иным способом или отсутствие информации о поведенческом выборе.

Установление зависимости между субъектом (сочетанием признаков, его характеризующих) и поведением (эффектом) – это поиск ответа на вопрос: «Какие сочетания признаков порождают появление искомого эффекта и при каких условиях?» Эффект – это не обязательно поведение. Эффектом может быть любая зависимая характеристика, имеющая свойство квазисимметричности. Например, характеристика статуса респондента (бедность–богатство, здоровье–болезнь, государственная–негосударственная служба). Эффект – это интересующая исследователей характеристика социума, возникающая, как предполагается, в результате одновременного действия некоторого множества факторов.

Слова «сочетание признаков» означают, что мы изучаем не последо-

вательную связь между некоторым набором признаков и эффектом, а между их совокупностью и эффектом; комбинационный характер признаков важнее их одиночного совпадения у респондентов. Кроме того, различные комбинации могут приводить к одному результату (эффекту).

Зависимость между сочетанием признаков и эффектом мы договорились называть причинной обусловленностью тогда, когда обнаруживается отношение, при котором сходство респондентов по некоторому сочетанию признаков порождает повторяющийся эффект и при этом отсутствуют контрпримеры (альтернативное поведение или оценка при том же сочетании детерминирующих признаков). Причинная обусловленность в данном контексте – это не причина-универсальный закон, а причина-объяснение события (например поведенческой готовности отстаивать свои трудовые права), произошедшего в данной ситуации.

Отсутствие контрпримеров – это очень важное условие, которое означает, что какое-то сочетание признаков считается влияющим на искомую характеристику только тогда, когда отсутствует то же самое сочетание признаков, описывающих респондентов (их объективные характеристики, установки и ситуацию), демонстрирующих альтернативную поведенческую готовность (не готовы отстаивать трудовые права). Если такое же сочетание признаков для противоположного эффекта есть, оно автоматически исключается из объяснительной модели.

Концепт «ситуация» применительно к задачам эмпирической социологии и соответствующие процедурные решения разрабатывались на первом этапе развития проекта (в 2009–2010 гг.). Несколько позже (в 2010–2012 гг.) появилась возможность эмпирической проверки разработанных логико-математических моделей. Большой вклад в эту работу внесла А.Ю. Волкова, тогда аспирантка РГГУ [8].

Необходимость включить в комплекс детерминирующих (независимых) характеристик признаки, описывающие ситуацию (т.е. внеличностные переменные), осознавалась изначально, поскольку присутствовала в исходной диспозиционной теории В.А. Ядова и имела солидное теоретическое обоснование в работах М. Рокича [9], У. Томаса и Ф. Знанецкого [10], И. Гофмана [11], Т. Барнса и Е. Флэм [12], Л. Росса и Р. Нисбетта [13], П. Штомпки [14]. Однако потребовалась большая работа, чтобы понять, какие именно характеристики ситуации следует включать в анализ в зависимости от исследовательской задачи; как и где их можно получить, какой вид они должны иметь, чтобы присутствовать в базах анали-

зируемых данных в качестве полноправного аналитического компонента.

В первом исследовании (1997–1998 гг.) характеристики ситуации (описания предприятий и городов, где эти предприятия расположены) мы использовали так же, как они используются и сейчас в большинстве исследований, проводимых в режиме «кейс-стади», т.е. в качестве описаний, более или менее структурированных, которые существовали вне базы данных анкетных опросов. Сейчас признаки, характеризующие ситуацию (контекст изучаемых социальных процессов), имплантируются в базу данных. Выявление причин социального поведения в этом случае основано на анализе не только сходства субъектов, но и сходства ситуаций. Соответственно, исследуемое отношение выглядит следующим образом:

$$\langle X, S, F \rangle \Rightarrow_1 Y. \tag{1}$$

Здесь: Y – эффект, S – ситуация (характеристики контекста), X – характеристики субъекта (пол, возраст, квалификация и пр.), F – мнения, оценки.

Такое представление позволяет решать целый спектр задач: поведение субъекта без учета ситуации и мнения $X \Rightarrow_1 Y$; зависимость мнения от личности вне ситуации $X \Rightarrow_1 F$ и с учетом контекста $\langle X, S \rangle \Rightarrow_1 F$ и т.д.

Процедуры и результаты работы метода

Реализующая ДСМ-метод компьютерная система JSM Socio воспринимает стандартное представление данных в формате SPSS или Excel и преобразует их во внутренний формат [15, 16].

Кратко процесс ДСМ-рассуждения выглядит так.

1. Закодированные данные просматриваются шаг за шагом, сравниваются, находятся группы респондентов, которые имеют одинаковые сочетания значений переменных.

2. Выделяются группы кодов с аналогичным содержанием. Находятся все сочетания признаков (причинные комбинации), свойственные некоторому количеству респондентов (родителей) и сопутствующие искомой характеристике (эффекту). Такое

сочетание признаков мы называем гипотезой. Некоторое число признаков (мы называем их ядерными) может входить в довольно большое число гипотез, и эти ядерные признаки дополняются другими, которые мы назвали периферийными. Они представляют собой подтипы, содержащие дополнительные характеристики, делающие гипотезу содержательно более богатой. Сочетание ядерных признаков дает нам некоторое основание объяснительной модели, которое дополняется нюансами, содержащимися в периферийных признаках. Пример ядерной гипотезы дан в *таблице 1*.

3. Оцениваем полученные комбинации и их разницу. Если разница существенна, это дает возможность получения обобщающих признаков (генерализаций) и формирования типологических единиц. Количество типов заранее предсказать трудно. Часто это зависит от исследовательского интереса социолога и вряд ли может быть жестко формализованным. Если разницы нет, корректируется исходная база данных. Один и тот же респондент может быть представителем нескольких типов. Иными словами, некоторые характеристики человека могут входить в одну причинную комбинацию (гипотезу), а другие – в другую.

4. Даем новые имена полученным комбинациям (сочетаниям признаков) так, чтобы было понятно, что это обобщенная характеристика (генерализация).

5. Вновь анализируем данные с помощью формальных инструментов ДСМ-метода.

Таблица 1. Фрагмент анализа детерминант политического участия (2015 г.)

Параметр	Значение
'uchas35'. X7 B35 участие в профессиональных ассоциациях	Не участвую в деятельности профассоциаций
'uchas37'. X9 B37 участие по интересам	Не участвую в деятельности по интересам
'aglo110'. S60 зона агломерации до 110 км включая центры	До 110 км
'istor'. S63 исторические поселения	Неисторическое поселение
'snnz'. S2 средняя начисленная зарплата	СННЗ выше 23001 р.
'unite17'. F6 B17 объединяться с другими для защиты прав	Готов

6. Анализируем результат с точки зрения правдоподобности рассуждений о влиянии совокупностей признаков на искомый эффект.

Процесс поиска новых гипотез заканчивается тогда, когда исчерпаны все возможные сочетания признаков, сопутствующих искомой характеристике.

Гипотезы о причинах исследуемого феномена порождаются автоматически, но из того материала, который предложил исследователь. Поэтому, помимо предположений о возможных детерминантах, мы можем оценить валидность используемых данных.

Содержательный результат работы метода мы получаем в виде «дерева гипотез», в корневых вершинах которого находятся «ядерные» признаки, ветвящиеся далее с учетом периферийных.

Минимальное количество респондентов (анкет, корпуса данных, наблюдений) – параметр индукции k , которое используется для построения гипотезы – два. В этом случае будет наибольшее количество признаков, дающих сочетание для построения объяснительной модели. Но минимальный «родительский порог» k приводит к огромному числу гипотез и дает в итоге слабо интерпретируемую объяснительную модель. Поэтому в каждом случае подбирается оптимальный порог, позволяющий, с одной стороны, объяснить большинство примеров, а с другой – получить достаточное количество общих признаков, формирующих тип. Это зависит от степени однородности изучаемого социума в контексте исследовательских задач.

Мы также задаем условие об априорной равнозначности всех попадающих в гипотезу признаков (ни один из признаков не является более существенным по сравнению с другими).

Заключение

ДСМ-метод использовался в разные годы для решения различных

социологических задач, связанных с выявлением комплексов признаков, детерминирующих коллективное поведение. Первой работой (1997–1999 гг., Е.Н. Данилова, С.Г. Климова, М.А. Михеенкова, В.К. Финн, В.А. Ядов) был анализ социальных и личностных характеристик рабочих, определяющих их участие (неучастие) в протестных коллективных действиях [17]. В рамках социологии труда мы применяли метод для решения прикладных задач (в частности в 2010–2012 гг. изучали ситуационные признаки, влияющие на разные аспекты трудового поведения; анализировали интегральные характеристики работников, описывающие их удовлетворенность трудом, а также готовность работников оставаться работать на предприятиях и включенность в дела предприятия – эффект «стабильность–лояльность»). В этой работе участвовали Н.В. Авдошина, В.Ю. Бочаров, С.Г. Климова, М.А. Михеенкова, Б.Г. Тукумцев, В.К. Финн, В.А. Ядов [18–21]. ДСМ-метод использовали также для изучения рациональности мнений в ситуации электорального выбора (В.К. Финн, М.А. Михеенкова [3]). Электоральные предпочтения с помощью ДСМ-метода анализировала А.В. Кученкова [22]. Кроме того, она использовала ДСМ-метод для сравнения 32 стран по уровню одобрения населением протестного поведения [23].

Наш опыт использования ДСМ-метода в эмпирической социологии позволяет сделать вывод, что возможность автоматического извлечения интерпретируемых зависимостей, которые неявно содержатся в массивах социологических данных, и имплантация в эти массивы признаков, характеризующих контекст, позволяет решать нетривиальные задачи, в частности:

1. ДСМ-метод дает возможность проверить содержательную непротиворечивость развертывания исходной концептуальной модели в признаки. Возможность выявления эмпирической структуры обобщающих понятий, которые используют социологи в опросах («удовлетворенность трудом», «демократия», «реформы», «стабильность», «средний класс» и пр., является весьма актуальной.

2. Проблема детерминант социального поведения – еще одна из базовых в социологии. Аналитиков и заказчиков исследований интересуют ответы на вопросы: почему происходит то или иное событие? кто будет вести себя так или иначе и при каких условиях, в какой ситуации? Запрос на исследование формулируется как ожидание выводов о связи характеристик респондента, его установок, мнений, оценок с готовностью к поведению определенного типа. Отвечая на эти вопросы, социологи обычно говорят о факторах – характеристиках, включенных в исследование, влияющих на ис-

комую переменную. Использование ДСМ-метода позволяет отвечать на вопрос о причинах, имея в виду не последовательную статистическую связь отдельных признаков с искомым эффектом, а объяснение события в данной ситуации комплексной причиной.

3. Использование ДСМ-метода возможно и для решения задач типологического анализа – одной из самых популярных у социологов процедур представления публике результатов исследований. Здесь особенность применения метода в том, что в качестве результата мы можем описать не статистический (обезличенный), а реальный объект. Мы получаем объемные характеристики реальных групп, которые в каких-то признаках (можно определить, в каких) совпадают, а в каких-то различаются.

4. Интеллектуальный анализ социологических данных требует высокопрофессиональной деятельности по использованию стандартных эвристик формирования массива данных и последующей интерпретации результатов работы ИС. Партнерские человеко-машинные ИС-ДСМ, реализующие формализованные эвристики анализа данных, способствуют приданию научной объективности исследованиям в социальных областях с помощью современных информационных технологий [24].

Литература

1. **Д.С. Милль**
Система логики силлогистической и индуктивной: Изложение принципов доказательства в связи с методами научного исследования, пер. с англ. Изд.5, испр. и доп., Сер.: Из наследия мировой философской мысли: логика, Москва, ЛЕНАНД, 2011, 832 с.
2. *Abductive Inference: Computation, Philosophy, Technology*, Eds J.R. Josephson, S.G. Josephson, UK, Cambridge, Cambridge University Press, 1994, 306 pp.
3. **В.К. Финн, М.А. Михеенкова**
Logic and Logical Philosophy, 2011, **20**(1-2), 111.
DOI: 10.12775 LLP.2011.006.
4. **В.К. Финн**
НТИ. Сер. 2. Информ. процессы и системы, 2014, №11, 1.
5. *Искусственный интеллект. Методология, применения, философия*, под ред. В.К. Финна, Москва, Красанд, 2011, 448 с.
6. *Автоматическое порождение гипотез в интеллектуальных системах*, под ред. В.К. Финна, Москва, URSS: Книжный Дом Либроком, 2009, 528 с.
7. **Г.С. Батыгин**
Лекции по методологии социологических исследований: Учеб. для студентов гуманитарных вузов и аспирантов, Москва, Аспект Пресс, 1995, 173 с.
8. **А.Ю. Волкова**
НТИ. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 2011, №5, 6.
9. **М. Рокеач**
Beliefs, Attitudes, and Values: a Theory of Organization and Change, USA, CA, San Francisco, Jossey-Bass, 1968, 214 pp.
10. **У. Томас, Ф. Знанецкий**
В Американская социологическая мысль: Тексты, под ред. В.И. Добренькова, Москва, Изд. МГУ, 1994, с. 183-195.
11. **И. Гофман**
Анализ фреймов: эссе об организации повседневного опыта, пер. с англ., Москва, Институт социологии РАН, 2003, 752 с.
12. **T.R. Burns, H. Flam**
The Shaping of Social Organization. Social Rule System Theory with Applications, UK, London, SAGE Publ. Ltd., 1987, 448 pp.
13. **Л. Росс, Р. Нисбетт**
Человек и ситуация: Уроки социальной психологии, пер. с англ., Москва, Аспект Пресс, 1999, 429 с.
14. **П. Штомпка**
Социология социальных изменений, пер. с англ., Москва, Аспект Пресс, 1996, 416 с.
15. **В.К. Финн, М.А. Михеенкова, С.Г. Климова, А.Ю. Волкова**
Свид. гос. рег. РФ, 2013614978, 2013.
16. **М.А. Михеенкова, А.Ю. Волкова**
НТИ. Сер. 2. Информ. процессы и системы, 2013, №7, 5.
17. **Е.Н. Данилова, С.Г. Климова, М.А. Михеенкова**
Социология: методология, методы, математическое моделирование, 1999, №11, 142.
18. **С.Г. Климова**
В Сб. стат. V науч.-практ. конф. «Социологические методы в современной исследовательской практике», посв. памяти первого декана фак. социологии НИУ ВШЭ А.О. Крыштановского (Москва, 22 февраля, 2011), Москва, Изд. дом НИУ ВШЭ, 2011, с. 105–111.
19. **С.Г. Климова, М.А. Михеенкова, В.К. Финн**
В Сб. стат. VI науч.-практ. конф. «Современная социология – современная Россия», посв. памяти первого декана фак. социологии НИУ ВШЭ А.О. Крыштановского (Москва, 1–3 февраля, 2012), Москва, Изд. дом НИУ ВШЭ, 2012, с. 161–173.
20. **С.Г. Климова, М.А. Михеенкова**
НТИ. Сер. 2. Информ. процессы и системы, 2012, №10, 1.
21. **С.Г. Климова, М.А. Михеенкова, В.К. Финн**
В Сб. мат. IV Очередного Всероссийского социологического конгресса «Социология и общество: глобальные вызовы и региональное развитие» (Уфа, 23-25 октября, 2012), Москва, РОС, 2012, с. 4557–4565.
22. **А.В. Кученкова**
Вестник РГГУ, Сер. Философия, Социология, 2011, №3(65)/11, 256.
23. **А.В. Кученкова**
Автореф. дисс. канд. социол. наук, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, 2012, 25 с.
24. **М.А. Михеенкова**
НТИ. Сер. 2. Информ. процессы и системы, 2011, №10, 1.

Инструментарий семантического моделирования наукоемких и высокотехнологичных производств *

Е.Ю. Хрусталева, О.Е. Хрусталева

В статье рассмотрен семантический инструментарий моделирования, основанный на гипертекстовом и когнитивном подходах к процессам анализа и перспективам развития различных оборонно-промышленных объектов наукоемких и высокотехнологичных производств. Приведены примеры построения семантических моделей, которые позволяют исследовать и совершенствовать механизмы обеспечения военной безопасности государства.

Ключевые слова: семантическое моделирование, наукоемкие и высокотехнологичные производства, оборонно-промышленный комплекс, гипертекст, когнитивные науки.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 13-06-00139 и 15-06-00604).

Введение

Характерной чертой современных наукоемких и высокотехнологичных производств является их слабая структурируемость, обусловленная такими особенностями этих производств, как уникальность, неопределенность, трудная формализуемость, динамичность, невозможность полного описания и пр. При этом возникающие проблемы и трудности не имеют аналогов в прошлом, а среда, в которой функционируют и развиваются подобные производства, изменяется стремительными темпами. В таких условиях инструментарий, применяемый для моделирования и анализа научно-технического и технологического прогресса, должен позволять: формировать концепцию достижения стратегических целей; учитывать главные разнородные факторы (научно-технические социально-экономические, геополитические и др.), определяющие развитие и функционирование национальных экономик; исследовать наукоемкий и высокотехнологичный сектор экономики в условиях дефицита необходимой информации о процессах, оказывающих влияние на его инновационное развитие; получать обозримые, информативные и наглядные результаты.

Применение инструментария семантического моделирования и анализа, предназначенного для качественного исследования и описания слабо структурируемых систем и явлений, позволяет значительно повысить эффективность стратегического управле-

ния современными наукоемкими и высокотехнологичными производствами, а также качество стратегических управленческих решений [1–3].

Неоднократные попытки формализовать сложные и слабо структурируемые системы и процессы хорошо известными методами (например операционными или математическими) обычно завершались тем, что их модели становились настолько абстрактными, что переставали адекватно отражать действительность. Кроме того, желание получить точный результат приводит к тому, что научные исследования сосредоточиваются исключительно на таких задачах, которые поддаются математическому решению. В результате ряд актуальных проблем, являющихся или плохо определенными, или слишком сложными для осуществления их формализации и строгого математического анализа, остается неизученным. В то же время большинство проблем, которые возникают в современных научно-технических и социально-экономических системах, относятся к классу слабо структурируемых. Для их



ХРУСТАЛЕВ
Евгений Юрьевич
профессор,
Центральный экономико-
математический институт РАН



ХРУСТАЛЕВ
Олег Евгеньевич
Центральный экономико-
математический институт РАН

эффективного разрешения следует отказаться от повышенных требований точности и использовать приближенные результаты.

Удовлетворить перечисленным выше требованиям способны методы семантического моделирования, которые основываются на «мягких» вычислительных процессах и позволяют на качественном уровне исследовать слабоструктурируемые ситуации и системы. Основным преимуществом таких методов представляется то, что используемый в их рамках семантический инструментарий мягких вычислений имеет большие возможности по описанию явлений реального мира по сравнению с методами классической. Однако в то же время он в значительно меньшей степени позволяет осуществлять формально-эквивалентные преобразования многих своих конструкций.

Модели, построенные на основе лингвистических средств мягких вычислений, имеют ряд отличительных особенностей: переменные в них качественные (лингвистические), а не количественные, то есть их значениями являются не числа, а слова и фразы естественного языка; взаимосвязи между лингвистическими переменными определяются не посредством математических уравнений, а задаются семантически – также с помощью естественного языка; критерии оценки определяются качественными рекомендациями по эффективности, предпочтительности, желательности или недопустимости каждого полученного варианта решения.

В традиционных операционных исследованиях формирование семантической модели представляется начальным этапом построения математической модели и предназначено для оценки имеющейся информации, необходимой для проведения дальнейшего, дополнительного или нового исследования, для проверки, не потеряны ли какие-либо существенные связи и факторы и т.п.

Инструментарий семантического анализа и моделирования обычно применяется на концептуальном или стратегическом уровне управления и принятия решений.

Гипертекстовое моделирование

Принципы построения информационных моделей и методы систематизации сведений для разных областей знаний различаются из-за специфических особенностей информации каждого конкретного вида. Для систематизации и анализа достаточно объемного класса сведений целесообразно использовать новый тип информационных моделей – нелинейный текст или гипертекст, объединяющий положительные свойства монографии, энциклопедии и тезауруса [4–6].

Отмеченные выше обстоятельства свидетельствуют о значимости и своевременности интеллектуального метода, разработанного на основе гипертекстовой методологии моделирования, которые позволяют работать со многими видами экономических данных, включая смысловую (понятийную) информацию. Новые метод и технология предназначены для повышения интеллектуального потенциала ученых и практиков при анализе и автоматизированной обработке семантических данных, для концептуального моделирования наукоемких и высокотехнологичных производств оборонно-промышленного комплекса [7].

Основные понятия и определения. Гипертекст – достаточно новый и перспективный тип информационных моделей. Их структура представляется в виде конструкции (сетевой), состоящей из подготовленных специальным образом текстовых фрагментов, связанных между собой определенными семантическими отношениями. Обычному, одномерному изложению сведений, которое интерпретируется как длинная строка символов, просматриваемая в одном направлении, противопоставлен многомерный ветвящийся текст. В его отдельных точках в зависимости от информационной потребности абонента изучение предметной области можно продолжить в нескольких различных направлениях. Гипертекст отличается от обычного повествования порядком следования материала, причем допустимы несколько уровней детализации.

В массивах гипертекстовой структуры информация систематизируется не на библиографических принципах, а на объектографических – в этом случае информационной единицей являются сведения, извлеченные из различных первоисточников и относящиеся к конкретному классу объектов произвольной природы. Технология позволяет выделить

в текстах информацию о каждом из упоминаемых объектов, собрать и упорядочить ее, а между объектами установить смысловые взаимосвязи, обеспечивающие построение классификационных схем любой степени сложности. Согласно такому подходу исходные тексты расчленяют на озаглавленные блоки, каждый из которых содержит некоторые сведения об объекте (информационная статья) и перечень заголовков его ближайших «родственников» с указанием типа родства (тезаурусная статья).

Совокупность тезаурусных статей представляет собой тезаурус понятий, описывающих конкретную научно-техническую или социально-экономическую область. Построение тезауруса равнозначно разработке информационной модели, а просмотр созданной понятийной сети способствует быстрому и глубокому освоению изучаемого материала, хорошей ориентации в нем, грамотной систематизации и оценке поступающих сведений, анализу накопленной информации на непротиворечивость и полноту. Кроме того, создание тезауруса представляет собой чрезвычайно сложную задачу и способствует движению со ступени эмпирического накопления

знаний на уровень синтеза, системного подхода. Качественно подготовленный тезаурус не только представляет собой в развернутом виде концептуальную модель некоторого экономического явления или его компонента, но и позволяет выявить «белые пятна» в разработке той или иной проблемы, а также делать обоснованные прогнозы относительно не известных еще факторов и закономерностей.

В тезаурусе гипертекста в обязательном порядке фиксируются следующие типы связей: = (синонимия); *R* (вид-род); *U* (часть-целое); *n* (процесс-над-процесс); *v* (род-вид); *f* (целое-часть); *r* (процесс-исполнитель роли); *e* (процесс-этап процесса); *c* (предмет-процесс); *p* (следствие-причина); *s* (причина-следствие), *a* (ассоциативные). В тезаурусе могут отражаться и другие типы смысловых отношений,

Военная экономика государства

- R. Экономика государства
- U. Военная доктрина государства
- v. Экономика капитального строительства военной организации государства
- v. Экономика ракетно-космического комплекса
- f. Военно-промышленный потенциал
- f. Сырьевые ресурсы военного назначения
- f. Военнослужащие
- f. Гражданский персонал военной организации
- f. Продукция военного назначения
- f. Продукция двойного назначения
- c. Управление военной экономикой
- c. Экономическая борьба в войне
- c. Мобилизация экономики к войне
- p. Обеспечение военной организации военной техникой и вооружением
- s. Военно-экономический потенциал государства
- a. Общественно-политический строй государства

Рис. 1. Тезаурусная статья объекта «Военная экономика государства».

специфичных для данной группы пользователей. Пример тезаурусной статьи приведен на рисунке 1.

Гипертекстовая модель оборонно-промышленного потенциала России. Для моделирования концепции укрепления военной безопасности

государства был составлен гипертекст, охватывающий несколько военно-экономических категорий: военная доктрина, военно-экономический потенциал, экономическая мобилизация и некоторые другие [8]. Фрагменты гипертекстовых моделей основных объектов в аналитическом виде можно представить следующим образом:

$M_{\text{военная_доктрина_России}} = \{R \text{ (Военная доктрина государства), } v \text{ (Военные доктрины основных зарубежных стран), } f \text{ (Военно-технические основы военной доктрины России | Военно-экономический потенциал России | Политические основы военной доктрины России), } c \text{ (Разработка военной доктрины России), } p \text{ (Проблемы военной безопасности в истории России)}\}.$

$M_{\text{военно-технические_основы_военной_доктрины_России}} = \{u \text{ (Военная доктрина России), } f \text{ (Характер возможной войны | Способы военных действий | Основные направления строительства вооруженных сил России | Системы вооружения России), } c \text{ (Планирование военного производства | Управление оборонным комплексом в условиях перехода к рынку | Сохранение военно-научного потенциала | Конверсия военного производства | Утилизация военной техники и вооружения)}\}.$

$M_{\text{военно-экономический_потенциал_России}} = \{R \text{ (Экономический потенциал России), } u \text{ (Военная доктрина России), } f \text{ (Экономика как современное средство противоборства | Оборонный комплекс России | Единая технология производства военной и гражданской продукции), } c \text{ (Предотвращение военно-экономической угрозы | Развитие военно-промышленного потенциала России | Сравнительный анализ противоборствующих экономик | Экономическая мобилизация)}\}.$

$M_{\text{экономическая_мобилизация}} = \{R \text{ (Мобилизация государства), } v \text{ (Мобилизация промышленности | Импульсная мобилизация экономики), } e \text{ (Перестройка режима работы отраслей хозяйства | Централизация управления экономикой | Изменение системы финансирования | Введение в действие правовой основы мобилизации экономики | Мобилизационное планирование экономики к войне | Мобилизационная подготовка экономики к войне | Моделирование экономической мобилизации), } r \text{ (Военно-экономический потенциал России)}\}.$

$M_{\text{мобилизационная_подготовка_экономики_к_войне}} = \{n \text{ (Экономическая мобилизация), } r \text{ (Материально-техническая база | Трудовые и сырьевые ресурсы | Система государственного финансирования | Законодательство в период мобилизационной подготовки экономики к войне | Органы управления), } e \text{ (Создание организационно-правовых основ проведения экономической мобилизации | Подготовка экономики к переводу на военное положение | Создание военно-экономического потенциала для ведения войны), } a \text{ (Достаточность мобилизационной подготовки экономики к войне | Заблаговременность мобилизационной подготовки экономики к войне | Скрытность мобилизационной подготовки экономики к войне)}\}.$

Беря за основу, например, модель $M_{\text{экономическая_мобилизация}}$, можно построить семантическую модель военно-экономического объекта «Мобилизация промышленности» (с учетом того, что понятия «Экономическая мобилизация» и «Мобилизация промышленности» связаны родо-видовым отношением). Имея модели этих двух процессов, нетрудно сопоставить смысловое наполнение их отдельных компонентов и осуществить контроль на непротиворечивость. Так, принципы проведения мобилизации промышленности должны отражать лишь ее специфику и только в этом отношении отличаться от принципов проведения экономической мобилизации в целом.

Когнитивное моделирование

Разновидностью семантического гипертекстового подхода к исследованию слабоструктурированных систем и ситуаций, в котором предусмотрены лишь причинно-следственные связи, являются когнитивные модели [9, 10]. Описание процедуры когнитивного моделирования базируется на стратегическом управлении развитием произвольной экономической системы или ее компоненты. Моделирование пред-

ставляет собой циклический процесс и содержит пять основных взаимосвязанных этапов: 1) когнитивная структуризация; 2) структурный анализ когнитивной модели; 3) сценарное моделирование развития ситуации; 4) оценка и интерпретация результатов моделирования; 5) когнитивный мониторинг ситуации.

Система когнитивных моделей наукоемких и высокотехнологичных производств, сформированная на основе предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) [11, 12], состоит из моделей научнотехнической сферы, производственной сферы, военно-политической и социально-экономической ситуации. Рассмотрим некоторые из них.

Модель научно-технической сферы (на примере ОПК) отражает взаимодействие процессов, сопровождающих проведение научно-исследовательских и конструкторских работ (рис. 2).

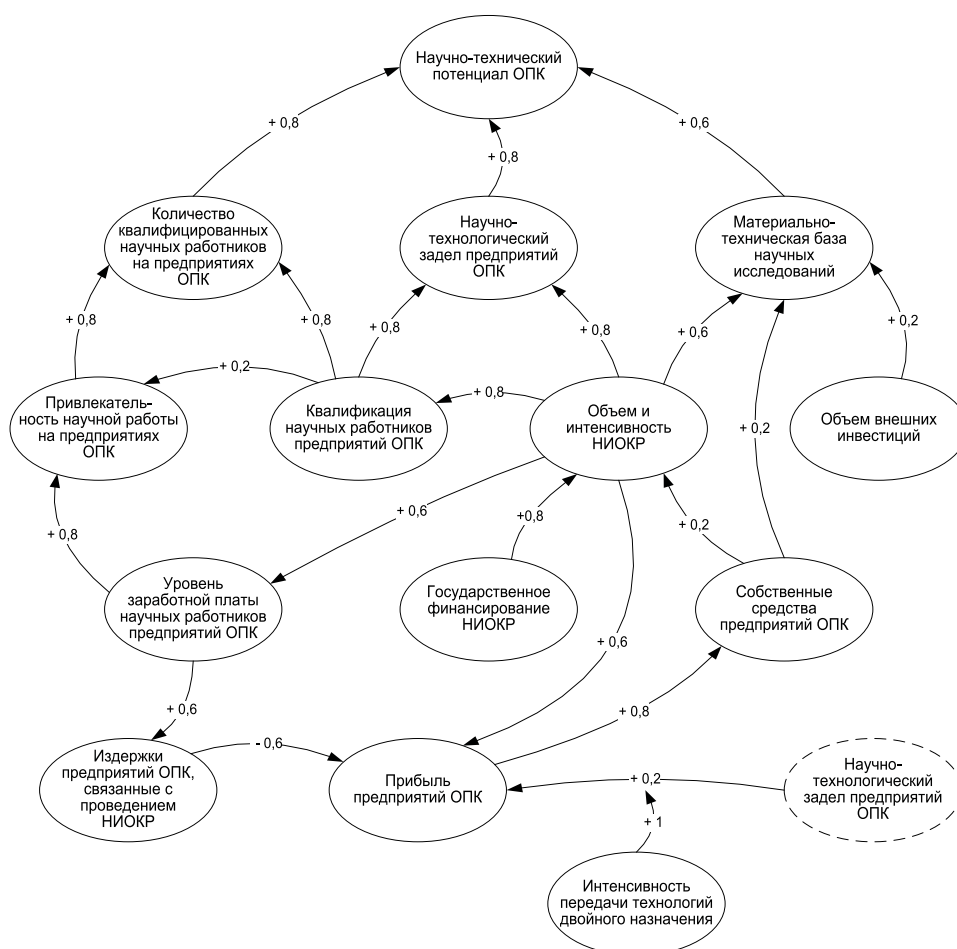


Рис. 2. Когнитивная модель научно-технической сферы (на примере ОПК). Здесь и далее НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

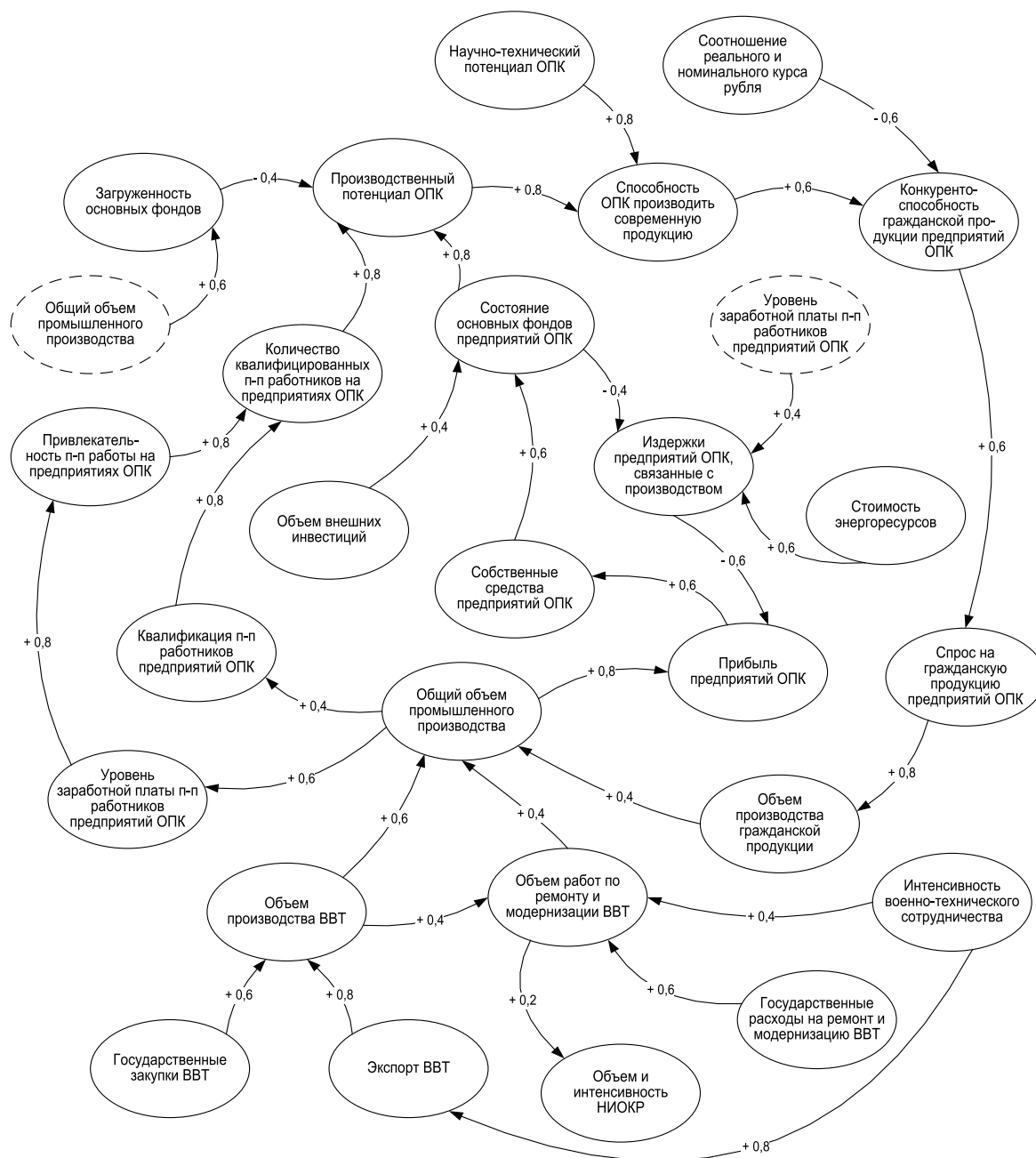


Рис. 3. Когнитивная модель производственной сферы (на примере ОПК). ВВТ – вооружение и военная техника; п-п – промышленно-производственный.

Одним из основных факторов, характеризующих наукоемкий комплекс, является его научно-технический потенциал, складывающийся из квалифицированного научного персонала, научно-технологического задела предприятий и в меньшей степени материально-технической базы научных исследований [10].

Модель производственной сферы наукоемкого комплекса (рис. 3) отражает взаимодействие процессов,

сопровождающих создание современной инновационной техники и продукции. Наряду с научно-техническим потенциалом вторым ключевым фактором, характеризующим наукоемкий комплекс, является его промышленный потенциал, складывающийся из квалифицированного промышленно-производственного (п-п) персонала и основных фондов предприятий наукоемкой промышленности.

Стрелки на рисунках 2 и 3 обозначают направление влияния факторов друг на друга, цифры – экспертную количественную величину этого влияния. В изобразительных целях некоторые факторы модели изобра-

жены на рисунке несколько раз. Повторное изображение фактора отмечено пунктирным контуром.

Инвестиционная привлекательность наукоемких и высокотехнологичных производств, определяющая объем внешних инвестиций, зависит от трех факторов: инвестиционного потенциала, инвестиционного риска и прибыли, которую приносят акционерам предприятия наукоемкой и высокотехнологичной промышленности. Инвестиционный потенциал предприятий определяется их научно-техническим и производственным потенциалом, а инвестиционный риск – преимущественно экономической и политической стабильностью в стране.

Являясь одним из крупнейших комплексов российской экономики, наукоемкие и высокотехнологичные производства вносят значительную лепту в экономический рост и занятость населения, особенно на тех территориях, где они являются градообразующими.

Заключение

Основные результаты и выводы проведенных исследований можно представить следующим образом.

Анализ применяемых методов информационного моделирования позволил сформулировать требования, которым должен удовлетворять соответствующий аппарат моделирования, а также выявить достоинства и недостатки этих методов. Так, во многих разработках не дается семантической интерпретации моделируемых экономических категорий, не осуществляется их однозначная идентификация. Это влечет невозможность построения удобной и эффективной классификации исследуемых объектов, а также не позволяет решить задачу поиска и оценки требуемых сведений, удовлетворяющих заданным отношениям, включая кванторы существования и всеобщности. Исследуемые подходы к построению моделей не обеспечивают возможности создания удовлетворительной базы знаний относительно различных аспектов экономических систем и не имеют удобного инструментария для работы с этой базой.

Для повышения эффективности и качества анализа и моделирования, а также текущего функционирования и сопровождения наукоемкого и высокотехнологичного производственного комплекса

и других трудноформализуемых слабоструктурированных экономических систем в их управленческом жизненном цикле должен присутствовать этап семантического моделирования. Отсутствие теоретически обоснованного решения данной проблемы и практическая нереализованность указанного уровня моделирования не позволяет в полной мере осуществить системный подход в проектировании экономических систем. Гипертекстовая технология моделирования и ее когнитивная разновидность дают возможность осуществить основные этапы семантического (концептуального) моделирования различных инновационных секторов экономики.

С учетом геополитического положения и национальных интересов России, а также особенностей структуры российской экономики и ситуации, сложившейся вокруг отечественного наукоемкого и высокотехнологичного комплекса (в частности оборонно-промышленного), проблемы развития последнего приобретают особое значение для национальной безопасности России. В ходе проведенных научно-исследовательских работ были разработаны семантические методология и инструментарий, позволяющие осуществить эффективное концептуальное сопровождение инновационного развития указанного комплекса в качестве важнейшей составляющей национальной экономики, т.е. его общей концепции как специфического сектора экономики, призванного поднимать технологический уровень экономического развития и приносить государству экспортные доходы.

Литература

1. В.И. Максимов
Проблемы управления, 2005, №3, 30.
2. Д.А. Поспелов
Логико-лингвистические модели в системах управления, Москва, Энергоиздат, 1981, 232 с.
3. Е.Ю. Хрусталева
Экономический анализ: теория и практика, 2013, №8(311), 2.
4. М.М. Субботин
НТИ. Сер. 2. Информационные процессы и системы, 1988, №5, 2.
5. В.Л. Эпштейн
Автомат. и телемех., 1991, №11, 3.
6. J. Conklin
Computer, 1987, 20(9), 17. DOI: 10.1109/MC.1987.1663693.
7. Е.Ю. Хрусталева
Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2011, №35(128), 61.
8. Д.И. Макаренко, Е.Ю. Хрусталева
Концептуальное моделирование военной безопасности государства, Москва, Наука, 2008, 304 с.
9. Causal Mapping for Research in Information Technology, Eds V.K. Narayanan, D.J. Armstrong, USA, PA, Hershey, Idea Group, Inc., 2005, 396 pp.
10. D.C. Engelbart
In AFIPS Conference Proceedings, 42: 1973 National Computer Conference and Exposition (New York, NY, USA, June 4–8, 1973), USA, NJ, Montvale, AFIPS Press/ACM, 1973, pp. 221–227. DOI: 10.1145/1499586.1499654.
11. Е.Ю. Хрусталева, О.Е. Хрусталева
Экономический анализ: теория и практика, 2013, №10(313), 2.
12. Д.И. Макаренко, Е.Ю. Хрусталева
Проблемы прогнозирования, 2007, №5, 27.

English

Toolkit for Semantic Modelling of Knowledge-Intensive and High-Tech Industries *

Evgeniy Yu. Khrustalev –

Professor,

Central Economics and Mathematics Institute, RAS

47, Nakhimovskiy Ave., Moscow, 117418, Russia

e-mail: stalev@cemi.rssi.ru

Oleg E. Khrustalev –

Central Economics and Mathematics Institute, RAS

47, Nakhimovskiy Ave., Moscow, 117418, Russia

e-mail: stalev777@yandex.ru

Abstract

The article describes the semantic modelling tools, based on the hypertext and the cognitive approaches to the processes analysis and development prospects of various military-industrial facilities of high-tech industries. Examples of the semantic models constructions, which allow to study and improve the state security mechanisms, are given.

Keywords: semantic modelling, knowledge-intensive and high-tech industries, military-industrial complex, hypertext, cognitive science.

References

1. V.I. Maximov
J. Control Sciences [Problemy upravleniya], 2005, №3, 30 (in Russian).
2. D.A. Pospelov
Logico-Linguistic Models in Management Systems [Logiko-lingvisticheskie modeli v sistemakh upravleniya], Moscow, Energoizdat Publ., 1981, 232 pp. (in Russian).
3. E.Yu. Khrustal'yov
J. Economic Analysis: Theory and Practice [Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika], 2013, №8(311), 2 (in Russian).
4. M.M. Subbotin
Automatic Documentation and Mathematical Linguistics, 1988, 22(5), 2.
5. V.L. Epstein
Avtomatika i Telemekhanika [Automatics and Telemechanics], 1991, №11, 3 (in Russian).
6. J. Conklin
Computer, 1987, 20(9), 17. DOI: 10.1109/MC.1987.1663693.
7. E.Yu. Khrustalev
J. National Interests: Priorities and Security [Natsionalnye interesy: priorytety i bezopasnost], 2011, №35(128), 61 (in Russian).
8. D.I. Makarenko, E.Yu. Khrustalev
Conceptual Modeling of the State Military Security [Kontseptualnoe modelirovanie voennoy bezopasnosti gosudarstva], Moscow, Nauka Publ., 2008, 304 pp. (in Russian).
9. Causal Mapping for Research in Information Technology, Eds V.K. Narayanan, D.J. Armstrong, USA, PA, Hershey, Idea Group, Inc., 2005, 396 pp.
10. D.C. Engelbart
In AFIPS Conference Proceedings, 42: 1973 National Computer Conference and Exposition (New York, NY, USA, June 4–8, 1973), USA, NJ, Montvale, AFIPS Press/ACM, 1973, pp. 221–227. DOI: 10.1145/1499586.1499654.
11. E.U. Khrustalev, O.E. Khrustalev
J. Economic Analysis: Theory and Practice [Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika], 2013, №10(313), 2 (in Russian).
12. D.I. Makarenko, E. Yu. Khrustalev
Studies on Russian Economic Development, 2007, 18(5), 466. DOI: 10.1134/S1075700707050036.

*

The work was financially supported by RFBR (projects 13-06-00139 and 15-06-00604).

**Подписано в печать 27.09.2016. Формат 60 x 90 ¹/₈.
Печ. л. 14.5 Тираж 300 экз.**

Оригинал-макет ЗАО «ИТЦ МОЛНЕТ»
123104, г. Москва, Малый Палашевский пер., д. 6
Тел./факс: (495) 927-01-98,
e-mail: info@molnet.ru
Печать ООО «ЛАЙФ»
105264, г. Москва,
7-я Парковая ул., д. 24, офис 100