ISSN 2658-705X

ISSN 2658-705X

ВЕСТНИК ПЕРМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА

ИЮЛЬ – СЕНТЯБРЬ 3/2021



ВЕСТНИК ПЕРМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА № 3 2021



ВЕСТНИК
ПЕРМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА

№ 3 ИЮЛЬ – СЕНТЯБРЬ 2021

Научный журнал
Основан в 2008 году
Выходит 4 раза в год
ISSN 2658-705X

Главный редактор
академик РАН *В.П. Матвеенко*

Редакционная коллегия
канд. экон. наук *А.Г. Андреев*
академик РАН *А.А. Барях*
д-р истор. наук *А.М. Белавин*
академик РАН *Н.В. Зайцева*
академик РАН *И.Б. Ившина*
чл.-корр. РАН *А.А. Иноземцев*
д-р истор. наук *И.К. Кирьянов*
д-р техн. наук *Л.Ю. Левин*
чл.-корр. РАН *В.Ю. Мишланов*
канд. экон. наук *И.П. Огородов*
д-р физ.-мат. наук *О.А. Плехов*
д-р техн. наук *И.А. Санфиров*
чл.-корр. РАН *В.Н. Стрельников*
чл.-корр. РАН *М.И. Соколовский*
д-р физ.-мат. наук *А.А. Ташкинов*
чл.-корр. РАН *Е.Г. Фурман*
чл.-корр. РАН *О.В. Хлынова*
чл.-корр. РАН *А.В. Черных*

Ответственный секретарь
канд. техн. наук *В.П. Приходченко*

Адрес редакции журнала:
614990, г. Пермь, ул. Ленина, 13А
тел.: (342) 212-43-75
e-mail: vestnik@permsc.ru

© Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, 2021

PERM FEDERAL RESEARCH CENTER JOURNAL

№ 3 JULY – SEPTEMBER 2021

Scientific journal
Published since 2008
Issued quarterly
ISSN 2658-705X

Editor-in-Chief
Academician *V.P. Matveenko*

Editorial Board
Cand. Sc. (Econ.) *A.G. Andreev*
Academician *A.A. Baryakh*
Dr. Sc. (Hist.) *A.M. Belavin*
Academician *N.V. Zaytseva*
Academician *I.B. Ivshina*
RAS corresponding member *A.A. Inozemtsev*
Dr. Sc. (Hist.) *I.K. Kiryanov*
Dr. Sc. (Tech.) *L.Yu. Levin*
RAS corresponding member *V.Yu. Mishlanov*
Cand. Sc. (Econ.) *I.P. Ogorodov*
Dr. Sc. (Phys.&Math.) *O.A. Plekhov*
Dr. Sc. (Tech.) *I.A. Sanfirov*
RAS corresponding member *V.N. Strelnikov*
RAS corresponding member *M.I. Sokolovskii*
Dr. Sc. (Phys.&Math.) *A.A. Tashkinov*
RAS corresponding member *Eu.G. Furman*
RAS corresponding member *O.V. Khlynova*
RAS corresponding member *A.V. Chernykh*

Executive Editor
Cand. Sc. (Tech.) *V.P. Prikhodchenko*

Editorial office address:
13A, Lenin St., Perm, 614990, Russia
tel.: (342) 212-43-75
e-mail: vestnik@permsc.ru

© Perm Federal Research Center UB RAS, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ИЮЛЬ – СЕНТЯБРЬ 3/2021

ИССЛЕДОВАНИЯ: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Смирнова Е.Н., Лоран Е.А., Мизева И.А., Подтаев С.Ю.
Функция эндотелия при метаболическом синдроме и его осложнениях: взаимосвязь функциональных и структурных изменений сердечно-сосудистой системы и механизмов регуляции сосудистого тонуса 6

Столбов О.В.
Моделирование эффекта разупрочнения в магнитоактивных эластомерах 13

Мизева И.А., Танканаг А.В., Красников Г.В.
Взаимосвязь колебаний сердечного ритма и осцилляций периферического кровотока при контролируемом дыхании 17

Меленев П.В., Рыжков А.В.
Микромасштабное моделирование магнитодеформационного отклика образцов феррогелей с разной структурой полимерной матрицы 23

Симанов А.А., Хохлова В.В.
Разработка методики мониторинговых гравиметрических исследований для изучения карстовых процессов 34

Слободинюк А.И., Сеничев В.Ю., Савчук А.В., Макарова М.А., Погорельцев Э.В., Перепада М.В., Красносельских С.Ф., Слободинюк Д.Г.
Эластомеры на основе эпоксиуретановых олигомеров, отверждаемые при комнатной температуре 42

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА

Семенов А.В.
Экономический кризис в массовых представлениях россиян 52

ИЗ ИСТОРИИ РОДНОГО КРАЯ

Аброськин В.Н., Редькина М.Г.
Европеус Владимир Иванович (1866–1931), Пермский вице-губернатор: обретенное лицо 63

На обложке – Закат на Нердвинском пруду (фото *К. Кузнецов*)

CONTENTS

JULY – SEPTEMBER 3/2021

RESEARCH: THEORY AND EXPERIMENT

Smirnova E.N., Loran E.A., Mizeva I.A., Podtaev S.Yu.
Endothelial function in metabolic syndrome and its complications: the relationship of functional and structural changes in the cardiovascular system and mechanisms of vascular tone regulation 6

Stolbov O.V.
Modeling the effect of softening in magnetoactive elastomers..... 13

Mizeva I.A., Tankanag A.V., Krasnikov G.V.
Relation of cardiovascular oscillations under controlled respiration in humans 17

Melenev P.V., Ryzhkov A.V.
Microscale model of ferrogel samples with different polymer matrix structure..... 23

Simanov A.A., Khokhlova V.V.
Development of monitoring gravimetric survey method for studying karst processes 34

Slobodinyuk A.I., Senichev V.Yu., Savchuk A.V., Makarova M.A., Pogoreltsev E.V., Perepada M.V., Krasnosel'skikh S.F., Slobodinyuk D.G.
Elastomers based on epoxyurethane oligomers, cured at room temperature 42

ACTUAL PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF RUSSIAN SOCIETY

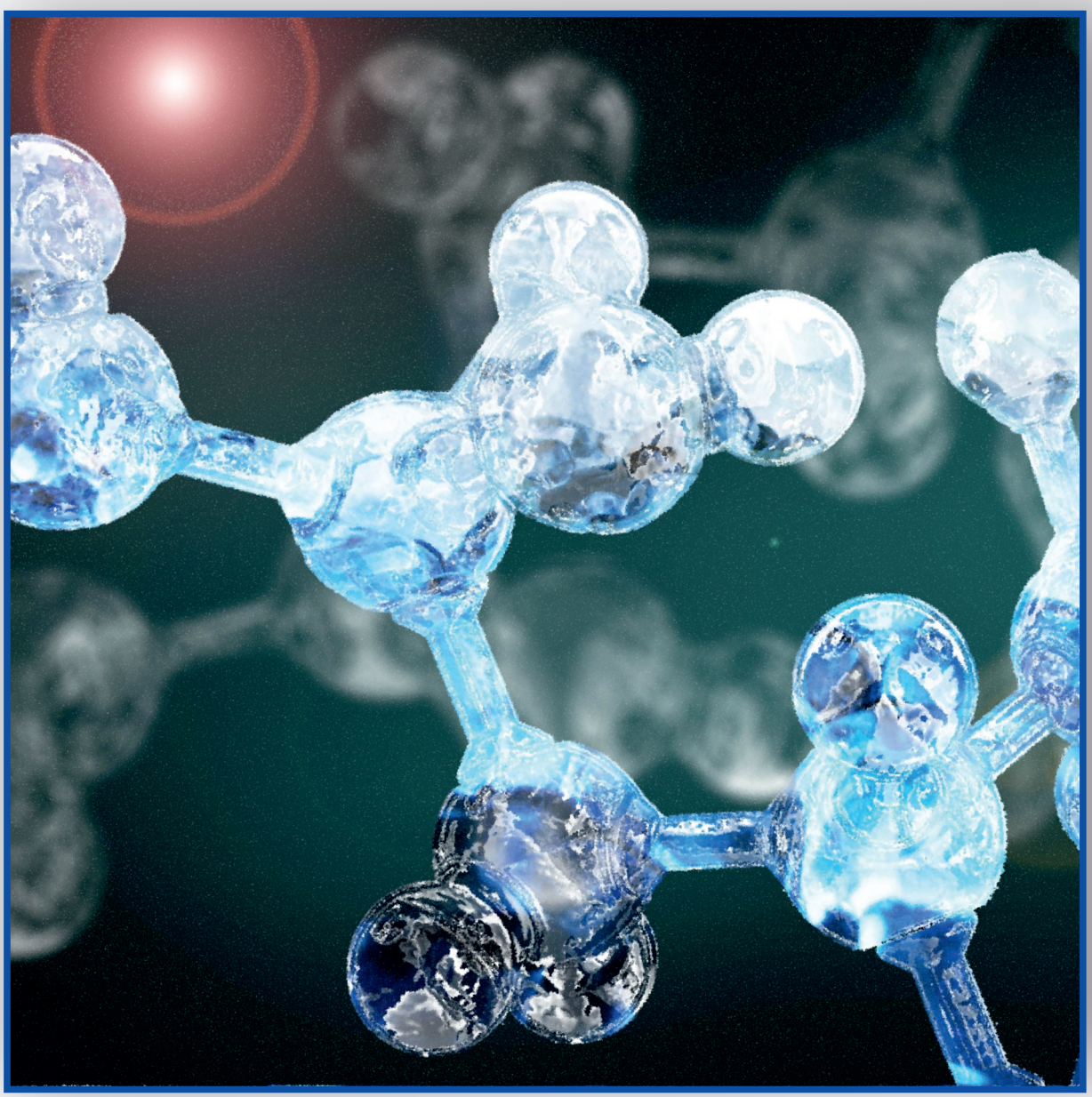
Semenov A.V.
Economic crisis in mass representations of Russians 52

FROM THE HISTORY OF OUR NATIVE LAND

Abroskin V.N., Redkina M.G.
EUROPEUS VLADIMIR IVANOVICH (1866–1931), the former vice-governor of the Perm region (guberniya): a newfound face 63

On the cover – Sunset on the Nerdvinsky pond (photo by *K. Kuznetsov*)

ИССЛЕДОВАНИЯ:
ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ



УДК 616-008.9-06-07:616.13-018.74

ФУНКЦИЯ ЭНДОТЕЛИЯ ПРИ МЕТАБОЛИЧЕСКОМ СИНДРОМЕ И ЕГО ОСЛОЖНЕНИЯХ: ВЗАИМОСВЯЗЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ И МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ СОСУДИСТОГО ТОНУСА *

Е.Н. Смирнова, *Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера*
Е.А. Лоран, *Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера*
И.А. Мизева, *Институт механики сплошных сред УрО РАН*
С.Ю. Подтаев, *Институт механики сплошных сред УрО РАН*

Для цитирования:
Смирнова Е.Н., Лоран Е.А., Мизева И.А., Подтаев С.Ю. Функция эндотелия при метаболическом синдроме и его осложнениях: взаимосвязь функциональных и структурных изменений сердечно-сосудистой системы и механизмов регуляции сосудистого тонуса // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2021. – № 3. – С. 6–12. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.1.

Эндотелиальная дисфункция – системное патологическое нарушение, которое характеризуется ослаблением эндотелий-зависимой вазодилатации и ремоделирования сосудов, что является ранним проявлением патологических процессов в сердечно-сосудистой системе. Нарушение состояния эндотелия сосудов в клинических условиях можно диагностировать по биохимическим и функциональным маркерам. Однако единая оптимальная методика диагностики эндотелиальной дисфункции отсутствует. Цель проекта – оценка дисфункции эндотелия у пациентов с метаболическим синдромом и усовершенствование диагностики и мониторирования эффективности лечения. Эндотелиальная дисфункция изучалась при помощи метода вейвлет-анализа колебаний кожной температуры, в качестве пробы для оценки динамического состояния эндотелия использовалась тепловая проба. Полученные данные сопоставлялись с традиционными биохимическими маркерами дисфункции эндотелия исходно и в динамике на фоне проводимой терапии. Исследование показало, что методика вейвлет-анализа колебаний кожной температуры может быть использована для диагностики дисфункции эндотелия, она проста, удобна, воспроизводима и была подтверждена лабораторным определением маркеров эндотелиальной дисфункции.

Ключевые слова: *метаболический синдром, вейвлет-анализ, эндотелиальная дисфункция, ожирение, колебания кожной температуры*.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 17-44-590755.

Введение

Высокая распространенность ожирения представляет серьезную медико-социальную проблему. Многочисленные исследования последних лет идентифицировали ожирение как ключевую причину развития сахарного диабета (СД) 2-го типа, метаболического синдрома (МС) и сердечно-сосудистых заболеваний, которые относятся к наиболее значимым проблемам здравоохранения большинства стран мира [1, 2]. Сердечно-сосудистая заболеваемость и смертность у людей с ожирением существенно выше по сравнению с лицами без него [3, 4]. В его основе лежит инсулинорезистентность и сопутствующая ей гиперинсулинемия, патогенетически объединяющие факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний: абдоминальное ожирение, гипергликемию, дислипидемию, артериальную гипертензию [5]. При ожирении в адипоцитах образуется большое количество провоспалительных цитокинов, свободных жирных кислот, фактор некроза опухолей альфа, интерлейкин-6 (ИЛ-6), ингибитор активатора плазминогена-1, С-реактивный белок. Все перечисленные факторы способствуют постоянному поддержанию очагов хронического воспаления и приводят к системному воспалению, нарушению регуляции и выработки адипокинов, возникновению и поддержанию эндотелиальной дисфункции (ЭД) [6]. ЭД неразрывно связана с резистентностью к инсулину через стимулирующие эффекты инсулина по утилизации глюкозы в тканях и продукцию NO в эндотелии [7].

ЭД является системным патологическим нарушением, которое характеризуется ослаблением эндотелий-зависимой вазодилатации и ремоделировании сосудов, что является ранним проявлением патологических процессов в сердечно-сосудистой системе. Нарушение состояния эндотелия сосудов в клинических условиях можно диагностировать по биохимическим и функциональным маркерам. К гуморальным, биохимическим маркерам поврежденного эндотелия относятся изменение концентрации в крови большого количества биологически активных веществ, синтезируемых эндотелием и экспрессируемых на его поверхности, такие как фактор фон Виллебранда (ФВ), эндотелин-1 (ЭТ-1), молекулы адгезии (Е-селектин, Р-селектин), тканевый активатор плазминогена, тромбомодулин, фибронектин, васкулоэндотелиальный фактор роста (ВЭФ) [8].

Однако у всех методов диагностики ЭД существуют свои недостатки и сложности использования. Оптимально было бы, чтобы новая методика удовлетворяла всем основным критериям: была воспроизводимой, неинвазивной, недорогой, простой в использовании, отражала тяжесть заболевания и стратификацию риска осложнений и летальности [9]. На сегодняшний день накоплено недостаточное количество данных о состоянии эндотелия при различных формах ожирения, а также влиянии на него снижения веса.

Целью проекта была оценка ЭД у пациентов с МС для прогнозирования течения атеросклероза, установления зависимости функционально-структурных изменений пораженных сосудов от состояния системы вазорегуляции; усовершенствования диагностики и мониторирования эффективности лечения.

Для регистрации кожного кровотока наиболее широко используются оптические методы, такие как фотоплетизмография и лазерная допплеровская флоуметрия (ЛДФ). Спектральный анализ переменной составляющей ЛДФ-сигнала позволяет оценивать состояние сосудистого тонуса и действие механизмов регуляции кровотока в микроциркуляторном русле. В спектре колебаний кожного кровотока выделяют пять частотных диапазонов, соответствующих различным факторам регуляции сосудистого тонуса – это пульсовая волна (0,5–2 Гц), волна дыхания (0,14–0,5 Гц), миогенные колебаний (0,05–0,14 Гц), нейрогенная активность (0,02–0,05 Гц) и функционирование эндотелия (0,0095–0,02–Гц) [10]. Метод ЛДФ имеет ряд ограничений, сужающих об-

ласть его применения. Прежде всего, это высокий уровень артефактов, связанных с чувствительностью к механическим смещениям зонда, что является принципиальным ограничением возможностей метода при длительных измерениях, проведении функциональных проб и последующем спектральном анализе. Кроме того, по причине пространственной анатомической неоднородности распределения микрососудов в дерме результаты ЛДФ – измерений могут иметь низкую воспроизводимость. Измерения кожной температуры (низкоамплитудные колебания температуры на поверхности кожи вызваны изменениями тонуса поверхностных сосудов) относительно нечувствительны к механическим факторам.

В наших работах показано, что колебания кожной температуры в частотном диапазоне, соответствующем миогенному, нейрогенному и эндотелиальному механизмам регуляции сосудистого тонуса содержат ту же информацию, что и колебания перфузии, регистрируемые с помощью ЛДФ [11–13]. На основе этих результатов был разработан новый метод вейвлет-анализа колебаний кожной температуры (ВАКТ) для изучения адаптационных резервов эндотелия микрососудов. Благодаря тому что функция, определяющая связь между кровотоком и кожной температурой, имеет свойства низкочастотного фильтра, результаты по регистрации колебаний температуры минимально чувствительны к шумам и имеют хорошую воспроизводимость.

Тепловая проба представляет собой достаточно простой и эффективный тест для оценки механизмов нарушения регуляции сосудистого тонуса, в частности ЭД. Широкое применение на практике этого теста ограничено рядом причин, но в сочетании с легко реализуемым методом ВАКТ, он может быть использован в рутинных клинических исследованиях, в частности для скрининга и раннего выявления ЭД [14, 15]. Задачи проекта включали в себя развитие инструментальных методов диагностики микроциркуляции крови, построение алгоритмов анализа данных. На основе разрабатываемого метода были изучены причинно-следственные взаимосвязи развития ЭД при метаболических нарушениях в рамках инсулинорезистентности и патогенетически ассоциированных с метаболическим синдромом заболеваниях, проведения корреляционного анализа между показателями регуляции сосудистого тонуса с биохимическими маркерами ЭД, определен вклад различных компонентов МС в развитие дисфункции эндотелия и сосудистых осложнений.

Материалы и методы

В исследование были включены 66 пациентов с МС в среднем возрасте 47±10 лет. Группу сравнения составили 16 (51±8 лет) практически здоровых лиц. Для оценки состояния функции эндотелия использовался метод ВАКТ с расчетом индексов вазодилатации (ИВД). В качестве стандартных маркеров ЭД определялись уровни микроальбуминурии (МАУ), ВЭФ и ЭТ-1.

Для определения вклада метаболических, гормональных, гемодинамических изменений в прогрессирование ЭД у всех пациентов измерялись антропометрические показатели (окружность талии (ОТ), окружность бедер (ОБ), индекс массы тела (ИМТ). Определялся уровень глюкозы, гликированного гемоглобина (А1сНв), мочевой кислоты (МК), липидного спектра, лептина, растворимых рецепторов к лептину (sLR), рассчитывали индекс HOMA-IR. Индекс свободного лептина (FLI) определяли как отношение лептина (нг/мл) к лептин-рецептору (нг/мл), умноженное на 100.

Результаты

Уровень ВЭФ и ЭТ-1 были достоверно выше при МС. У 19% наблюдаемых основной группы уровень МАУ соответствовал оптимальному (< 10 мкг/мл), у 50% – высоконормальному (10–30 мкг/мл), а у 31% был высоким (>30 мкг/мл). Получены взаимосвязи ме-

жду маркерами ЭД: уровень ЭТ-1 коррелировал с уровнем ВЭФ (r=0,46; p=0,002) (рис. 1), и МАУ (r=0,39; p=0,04). ИВД, отражающие активность вазодилаторных механизмов, при проведении ВАКТ в группе с МС были на 30% ниже, чем в группе контроля, что связано с недостаточной вазодилатацией. Получены корреляции между биохимическими маркерами ЭД и показателями ИВД. ВЭФ и ЭТ-1 обратно коррелировали с ИВД (r = -0,72; p=0,01 и r = -0,82; p=0,01), т.е. чем выше маркеры ЭД, тем хуже вазодилатация.

В группе пациентов с МС инсулин и индекс HOMA-IR были ожидаемо выше, чем в группе сравнения, что подтверждает у них наличие инсулинорезистентности. Повышение ИМТ характеризовалось увеличением систолического артериального давления (САД) (r=0,43; p=0,0003) и диастолического (ДАД) (r=0,48; p=0,00004), триглицеридов (ТГ) (r=0,45; p=0,0002). Уровни САД и ДАД коррелировали с уровенем инсулина (r=0,32; p=0,01 и r=0,28; p=0,03) и индексом HOMA-IR (r=0,31; p=0,01 и r=0,27; p=0,04), уровнем МК (r=0,35; p=0,02 и r=0,54; p=0,00001). Также инсулинорезистентность (HOMA-IR) сопровождалась повышением уровня ТГ (r=0,28; p=0,03) и МК (r=0,34; p=0,02). Лептинорезистентность при МС характеризовалась значимым повышением уровня лептина и снижением sLR. Индекс свободного лептина более чем в 10 раз превышал значения FLI полученные в группе контроля. Уровень лептина, а также FLI у женщин с МС был почти в 2 раза выше, чем у мужчин.

Нами установлена отрицательная корреляция лептина и его растворимых рецепторов (r = -0,48; p<0,05). Была получена прямая корреляционная взаимосвязь между уровнем лептина и глюкозой в крови (r=0,9; p=0,03), с увеличением ИМТ и ОБ возрастали уровень лептина (r=0,48; p=0,04 и r=0,53; p=0,03) и индекс свободного лептина (r=0,58; p=0,02 и r=0,56; p=0,03).

ИВД обратно коррелировал с уровнем САД (r = -0,55; p = 0,04), ОТ (r = -0,57; p=0,04) и постпрандиальной гликемией (r = -0,87; p = 0,05), уровнем МК (r = -0,78; p = 0,03), инсулина и HOMA-IR (r = -0,84; p = 0,004 и r=-0,86; p=0,002 соответственно), с уровнем лептина (r = -0,9; p = 0,03) (рис. 2).

Для установления последовательности нарушений механизма вазодилатации при различных вариантах МС из основной группы пациентов с МС было сформировано 3 группы в зависимости от осложнений: наличия АГ, дислипидемии и гипергликемии. *Группу 1* (гипергликемическую) составили 16 пациентов (средний возраст 52±8 года) с гипергликемией и дислипидемией, но с нормальным уровнем АД. *Группа 2* (гипертоническая) состояла из 23 человек (средний возраст 45±11 года) с гипертонией, дислипидемией и нормогликемией. *Группу 3* (МС) составили 27 пациентов (средний возраст 46±9 года) с гипертонией, гипергликемией и дислипидемией.

Результаты: у пациентов с ожирением уровни МАУ, VEGF и ЭТ-1 были значимо выше, чем в группе сравнения (25±15 и 9,4±2,7, 180±20 и 75±12, 0,6±0,1

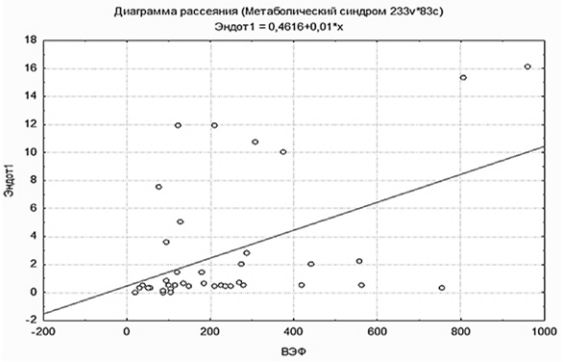


Рис. 1. Взаимосвязь биохимических маркеров ЭД эндотеллина-1 фмоль/мл (Эндотел1) и ВЭФ пг/мл

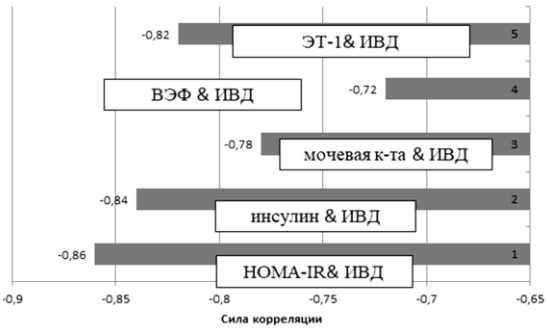


Рис. 2. Взаимосвязи биохимических и инструментальных маркеров ЭД и показателей инсулинорезистентности

и 0,32±0,05 соответственно) и не различались между группами. Получены следующие взаимосвязи: уровень ЭТ-1 коррелировал с инсулином (r=0,49; p=0,02), индексом IR-HOMA (r=0,55; p=0,01), VEGF (r=0,80; p=0,0001), уровень VEGF, в свою очередь, коррелировал с МАУ (r=0,80; p=0,004), а уровень МАУ – с тощаковой гликемией (r=0,70; p=0,02).

Таким образом, уровень биохимических маркеров ЭД в группах не отличался. Во всех группах были выявлены взаимосвязи между маркерами, что подтверждает корректность определения и наличие дисфункции эндотелия в группах с ожирением. Полученные корреляционные связи свидетельствуют о повышении маркеров ЭД с увеличением гликемии и степени инсулинорезистентности.

При проведении ВАКТ получена схожая динамика. По индексам вазодилатации в эндотелиальном частотном диапазоне видно (ИВД в группе 1 – 0,45, ИВД в группе 2 – 0,59, ИВД в группе 3 – 0,66), что восстановление отсутствовало в равной мере во всех группах (рис. 3). Уровень рассчитанных индексов вазодилатации коррелировал с соответствующими изменениями ЭТ-1, МАУ, VEGF и степенью инсулинорезистентности (VEGF и IR-HOMA r=0,42 p=0,01; ЭТ-1 и IR-HOMA r=0,55; p=0,01; ЭТ-1 и IPV r= -0,58; p=0,04).

Для изучения возможности обратного ремоделирования сосудистой системы и восстановления эндотелиальной функции *группу наблюдения* составили 27 пациентов (средний возраст 46±10 года) с гипертонией, гипергликемией и дислипидемией. Всем пациентам была рекомендована гипокалорийная диета, пациентам с нарушением толерантности к глюкозе (НТГ) и СД 2-го типа диета с ограничением легкоусваиваемых углеводов.

Через 6 месяцев после лечения на фоне комплексной терапии функция эндотелия на основе ВАКТ была оценена отдельно в группах, где пациенты достигли значимого снижения массы тела (более 5%) и тех пациентов, чье снижение массы тела было незначительным (менее 5%). В группе с выраженным снижением массы тела амплитуды колебаний кожной температуры имели тенденцию к восстановлению (в эндотелиальном диапазоне) или восстанавливались до исходного уровня (в нейрогенном и миогенном диапазонах). У пациентов с незначительным снижением веса динамика изменений амплитуд колебаний была схожа с данными до проведенного лечения, лишь в нейрогенном диапазоне появилась тенденция к восстановлению. ИВД у пациентов с выраженным снижением веса были значительно выше исходных и ИВД тех лиц, кто не достиг нужного снижения массы тела (ИВД исходно – 0,66 [0,53–0,79], ИВД – снижение массы тела 5% 1,04 [0,59–1,24], ИВД у лиц со снижением массы тела менее 5% 0,51 [0,16–0,70]) (рис. 4).

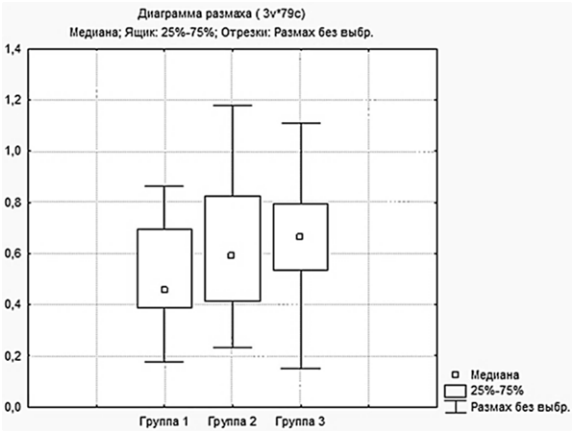


Рис. 3. Индексы вазодилатации в группах с различными компонентами метаболического синдрома



Рис. 4. Индексы вазодилатации исходно и в динамике через 6 мес. после лечения

Выводы

1. Все формы осложненного ожирения характеризуются наличием воспаления, инсулино- и лептинорезистентности, проявляющихся повышением ИЛ-6, индекса HOMA-IR, лептина, индекса свободного лептина, индекса лептин/адипонектин, снижением растворимых рецепторов к лептину, а степень изменения этих показателей определяется уровнем АД, массой тела, гликемией и гиперлипидемией.

2. ЭД при осложненном ожирении проявляется повышением его биохимических маркеров: ВЭФ, МАУ, ЭТ-1. При проведении исследования методом ВАКТ выявилась недостаточность вазодилаторных механизмов регуляции сосудистого тонуса, коррелирующая с лабораторными показателями ЭД. Усугубление дисфункции эндотелия связано с прогрессированием факторов: артериальной гипертензии, гипергликемии, дислипидемии, повышения значений лептина, инсулина и ИЛ-6. Улучшение функции эндотелия в виде восстановления вазодилаторного ответа на локальный нагрев, выявленное методом ВАКТ, было установлено только у пациентов, достигших 5%-ного снижения массы тела от исходного уровня, нормализации АД и гликемии после 6-месячного комплексного лечения.

4. Методика ВАКТ может быть использована для диагностики ЭД, она проста, удобна, хорошо воспроизводима и подтверждается лабораторным определением маркеров ЭД.

Библиографический список

1. *Демидова Т.Ю., Круглова Е.Л.* Ожирение, как ключевая и модифицируемая причина развития сахарного диабета 2 типа // Российский медицинский журнал – 2009. – Т. 17. – № 7. – С. 34-39.
2. Рекомендации экспертов всероссийского научного общества кардиологов по диагностики и лечению метаболического синдрома (второй пересмотр) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2009. – № 8 (6).
3. *Максимов М.Л.* Сибутрамин и сибутраминсодержащие препараты в лечении пациентов с ожирением. Вопросы эффективности и безопасности // Атмосфера. Новости кардиологии. – 2013. – № 3. – С. 32–38.
4. *Mancia G., Bombelli M., Corrao G.* [et. al.] Metabolic syndrome in the Pressioni Arteriose Moni-torate E Loro Associazioni (PAMELA) study: daily life bloodpressure, cardiac damage, and prognosis // Hypertension. – 2007. – Vol. 49. – № 1. – P. 40–47.
5. *Alberti K.* [et. al.] Harmonizing the metabolic syndrome: a joint interim statement of the international diabetes federation task force on epidemiology and prevention; national heart, lung, and blood institute; American heart association; world heart federation; international atherosclerosis society; and international association for the study of obesity // Circulation. – 2009. – Vol. 120. – № 16. – C. 1640–1645.
6. *Cubbon R.M., Kahn M.B., Wheatcroft S.B.* Effects of insulin resistance on endothelial progenitor cells and vascular repair // Clinical Science. – 2009. – Vol. 117. – № 5. – P. 173–190.
7. *Holowatz L.A., Thompson-Torgerson C.S., Kenney W.L.* The human cutaneous circulation as a model of generalized microvascular function // Journal of applied physiology. – 2008. – Vol. 105. – № 1. – P. 370–372.
8. *Flammer A.J.* [et. al.] The assessment of endothelial function: from research into clinical practice// Circulation. – 2012. – Vol. 126. – P. 753–767.
9. *Kvandal P.* [et. al.] Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines // Microvascular research. – 2003. – Vol. 65. – № 3. – P. 160–171.
10. *Frick P., Mizeva I., Podtaev S.* Skin temperature variations as a tracer of microvessel tone // Biomedical Signal Processing and Control. – 2015. – Vol. 21. – P. 1–7.
11. *Podtaev S.* [et. al.] Wavelet-based correlations of skin temperature and blood flow oscillations // Cardiovascular Engineering. – 2008. – Vol. 8 (3). – P. 185–189.
12. *Smirnova E, Podtaev S, Mizeva I, Loran E.* Assessment of endothelial dysfunction in patients with impaired glucose tolerance during a cold pressor test //Diabetes and Vascular Disease Research. – 2013. – Vol. 10. – № 6. – P. 489–497.
13. *Podtaev S.* [et. al.] Wavelet-analysis of skin temperature oscillations during local heating for revealing endothelial dysfunction // Microvascular research. – 2015. – Vol. 97. – P. 109–114.

14. *Parshakov A.* [et. al.] Detection of endothelial dysfunction using skin temperature oscillations analysis during local heating in patients with peripheral arterial disease // Microcirculation. – 2016. – Vol. 23. – № 6. – P. 406–415.

ENDOTHELIAL FUNCTION IN METABOLIC SYNDROME AND ITS COMPLICATIONS: THE RELATIONSHIP OF FUNCTIONAL AND STRUCTURAL CHANGES IN THE CARDIOVASCULAR SYSTEM AND MECHANISMS OF VASCULAR TONE REGULATION

E.N. Smirnova[1], E.A. Loran[1], I.A. Mizeva[2], S.Yu. Podtaev[2]

[1]*Academician Ye.A. Vagner Perm State Medical University*
[2]*Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS*

For citation:
Smirnova E.N., Loran E.A., Mizeva I.A., Podtaev S.Yu. Endothelial function in metabolic syndrome and its complications: the relationship of functional and structural changes in the cardiovascular system and mechanisms of vascular tone regulation // Perm Federal Research Center Journal. – 2021. – № 3. – P. 6–12. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.1

Endothelial dysfunction is a systemic pathological disorder characterized by weakening of endothelium-dependent vasodilation and vascular remodeling, which is an early manifestation of pathological processes in the cardiovascular system. Vascular endothelial abnormalities in a clinical setting can be diagnosed by biochemical and functional markers. However, there is still no unified optimal method for diagnosing endothelial dysfunction.

The aim of the project was to evaluate endothelial dysfunction in patients with metabolic syndrome and to improve the diagnosis and monitoring of treatment effectiveness. Endothelial dysfunction was studied using the method of wavelet analysis of skin temperature fluctuations, and a thermal test was used to assess the properties dynamic state of the endothelium. The obtained data were compared with endothelial dysfunction biochemical markers at baseline and in dynamics after the therapy. The study showed that the wavelet analysis of skin temperature fluctuations technique can be used for diagnosing the endothelial dysfunction. This technique is simple, convenient, reproducible, it has been confirmed by laboratory determination of endothelial dysfunction markers.

Keywords: metabolic syndrome, wavelet analyses, endothelial dysfunction, skin temperature oscillations, tuberculosis.

Сведения об авторах

Смирнова Елена Николаевна, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедры эндокринологии и клинической фармакологии, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера (ПГМУ), 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 26; e-mail: elenasm2001@mail.ru

Лоран Евгения Александровна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры эндокринологии и клинической фармакологии, ПГМУ; e-mail: jenushok@mail.ru

Мизева Ирина Андреевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физической гидродинамики, Институт механики сплошных сред УрО РАН («ИМСС УрО РАН»), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1; e-mail: mizeva@icmm.ru

Подтаев Сергей Юрьевич, кандидат физико-математических наук, директор по НИОКР, НПП Системы контроля, 614031, г. Пермь, ул. Докучаева, 31Б; e-mail: spt802@gmail.com

Материал поступил в редакцию 31.03.2021 г.

УДК 531.2 537.62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА РАЗУПРОЧНЕНИЯ В МАГНИТОАКТИВНЫХ ЭЛАСТОМЕРАХ *

О.В. Столбов, *Институт механики сплошных сред УрО РАН*

Для цитирования:
Столбов О.В. Моделирование эффекта разупрочнения в магнитоактивных эластомерах // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2021. – № 3. – С. 13–16. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.2

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ) представляют собой композиты, в которых полимерная матрица наполнена микрочастицами изотропного ферромагнетика с низкой коэрцитивной силой. Функциональность таких материалов обусловлена их способностью изменять структуру под влиянием внешнего магнитного поля и определяется взаимодействием частиц и матрицы на мезоскопических (порядка размеров частиц) масштабах. В МАЭ экспериментально наблюдается эффект разупрочнения, который заключается в том, что в диапазоне деформаций от 0,1 до 1% эффективный модуль упругости материала резко падает. Данная работа посвящена созданию простой численной модели, качественно описывающей такой эффект разупрочнения. Рассматривается образование цепочки частиц в приложенном магнитном поле и её разрушение под действием растягивающих и сжимающих механических сил. Полученные результаты объясняют механизмы разупрочнения в МАЭ.

Ключевые слова: *магнитоактивный эластомер, магнитомеханика, магнитоупругость.*

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ) представляют собой композиты, в которых полимерная матрица наполнена микрочастицами изотропного ферромагнетика с низкой коэрцитивной силой, например частицами карбонильного железа с дисперсностью 2–5 мкм. Помимо магнитной мягкости (низкой анизотропии) самого материала, частицы микронного размера являются многодоменными, что дает безгистерезисное намагничивание их под действием приложенного магнитного поля. Это поле индуцирует магнитные моменты в частицах и, таким образом, между ними возникают магнитостатические силы. В результате этих взаимодействий частицы начинают перегруппировку, вызывая деформацию полимерной матрицы. Совместные результаты этих мезоскопических процессов имеют много интерес-

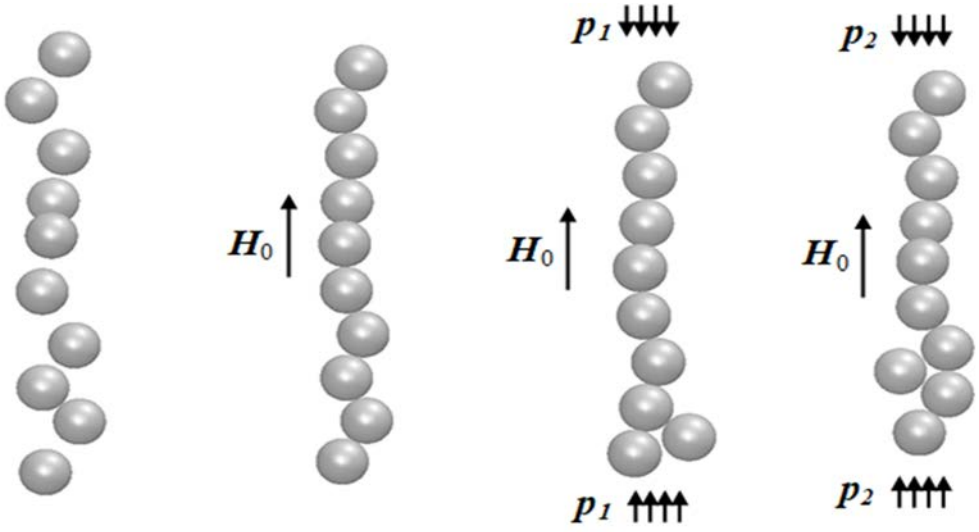
* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-41-590160.

ных проявлений в макроскопическом масштабе, которые включают эффекты изменения формы, а также изменение реологических характеристик МАЭ (например, увеличение модуля упругости под действием поля). Таким образом, возможность управления магнитным полем делает МАЭ функциональными материалами с широким спектром применения.

В данной работе мы развиваем модель, которая описывает мезоскопические эффекты, лежащие в основе некоторых важных особенностей, наблюдаемых в механическом поведении МАЭ. В частности, мы обращаемся к эффекту, который давно известен из экспериментов, но до сих пор остается малоизученным. А именно, если намагниченный образец МАЭ подвергается небольшой одноосной деформации ε, его эффективный модуль упругости E оказывается сильно нелинейной функцией деформации: E при $\varepsilon \sim 0{,}1\%$ на порядок больше, чем при $\varepsilon \sim 1\%$. Другими словами, в этом диапазоне деформаций эффективный модуль упругости резко падает, т.е. композит демонстрирует значительное разупрочнение, что является довольно неожиданным эффектом [1].

Мы основываем свое объяснение на следующей простой модели. Для качественного описания этого эффекта рассмотрим структурный элемент композита в форме вытянутого параллелепипеда размером $20R \times 3R \times 3R$. В нем 10 частиц сферической формы и одинакового радиуса R случайно распределены внутри объема структурного элемента. Выбор размера элемента обусловлен тем, что поперечный размер элемента не дает возможности двум частицам встать бок о бок. Таким образом получается, что в исходном состоянии частицы представляют собой неидеальную цепочечную структуру, где центры частиц не расположены на одной линии и частицы не находятся в тесном контакте (рис. 1, *а* и 2, *а*). При включении поля под действием магнитостатических сил частицы слипаются и, противодействуя упругим возвращающим силам, создаваемым матрицей, приближают свои центры к прямой, параллельной направлению поля (рис. 1, *б* и 2, *б*). По мере уменьшения зазоров между частицами образец приобретает отрицательную деформацию ε_0, что можно интерпретировать как проявление эффекта структурной магнитострикции, поскольку механическая нагрузка отсутствует и размагничивающий фактор для вытянутого элемента мал.

Затем на верхнюю торцевую стенку структурного элемента композита прикладываются растущие усилия сжатия



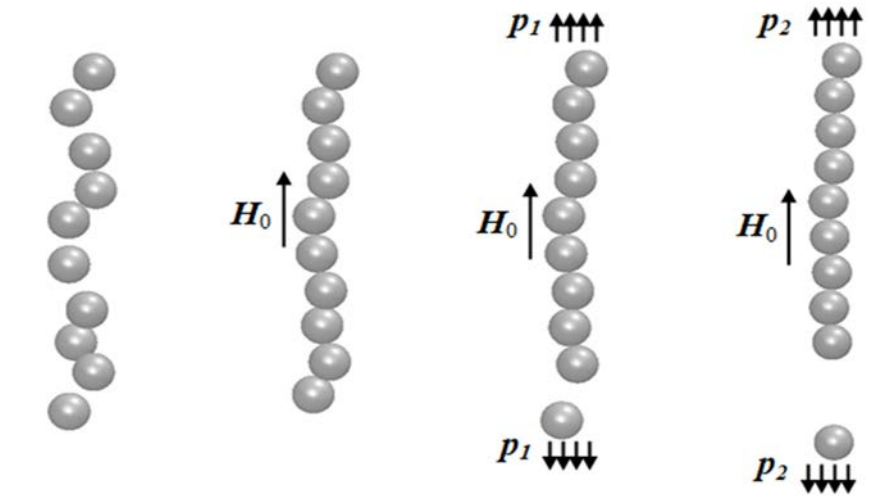
а *б* *в* *г*

Рис. 1. Распределение частиц внутри структурного элемента: а – начальное состояние; б – образование цепочки в магнитном поле H_0; в, г – магнитное поле H_0 и сжимающие усилия p_1 и p_2 соответственно; $p_1 < p_2$

(рис. 1, *в–г*) либо растягивающие усилия (рис. 2, *в–г*). Под их действием прямолинейная конфигурация цепи постепенно искажается. Хотя это не совсем так, но можно сравнить происходящую эволюцию цепочки с эйлеровой неустойчивостью тонкого стержня (в случае сжатия), где порог «размазан» из-за наличия упругой матрицы вокруг цепочки частиц

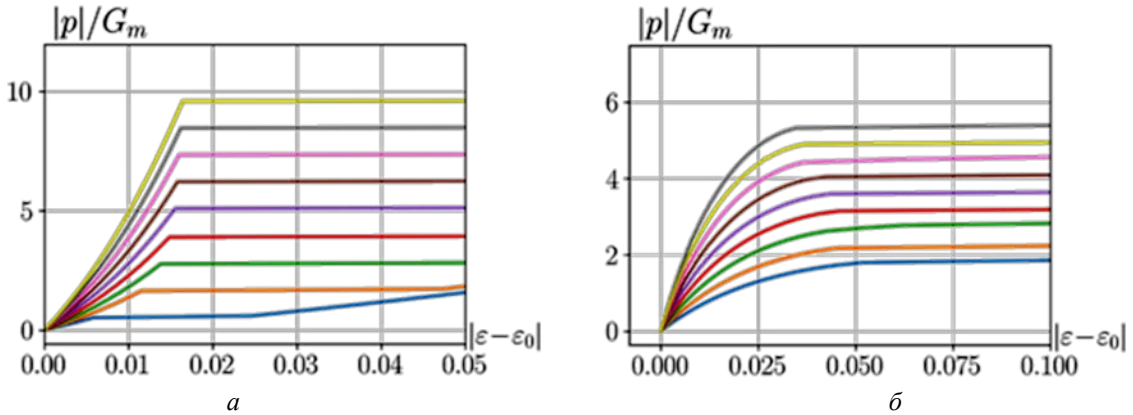
Представленные выше рисунки получены в результате численного решения модельной задачи, выполненного методом, описанным в работе [2]. Алгоритм организован следующим образом. Сначала для образца заданной формы методом конечных элементов при заданных граничных условиях вычисляется тензор линейного отклика L, связывающий между собой смещения границ образца и частиц внутри него для заданного на них распределения сил. Полная энергия системы берётся в виде суммы упругой (вычисляемой с помощью L) и магнитной энергий, а затем ищется минимум этой функции для каждого значения приложенного магнитного поля в предположении о несжимаемости матрицы и о взаимной непроницаемости частиц. Таким образом, определяются равновесные смещения каждой из частиц и деформация границ образца МАЭ.

На рис. 3 показаны зависимости безразмерного напряжения $|p|/G_m$ от дефор-



а *б* *в* *г*

Рис. 2. Распределение частиц внутри структурного элемента: а – начальное состояние; б – образование цепочки в магнитном поле H_0; в, г – магнитное поле H_0 и растягивающие усилия p_1 и p_2 соответственно; $p_1 < p_2$



а *б*

Рис. 3. а – зависимости безразмерного растягивающего усилия $|p|/G_m$ от деформации образца. Значения квадратов магнитных полей снизу вверх H_0^2/G_m = 40,50,60,70,80,90,100,110,120; б – зависимости безразмерного сжимающего усилия $|p|/G_m$ от деформации образца. Значения квадратов магнитных полей снизу вверх H_0^2/G_m = 40,50,60,70,80,90,100,110,120

мации образца (G_m – модуль сдвига матрицы), т.е. аналоги обычных кривых напряжение-деформация при различных значениях магнитного поля. Как видно, после разрыва линейной конфигурации цепи касательная к представленной кривой (т.е. эффективный модуль Юнга) становится значительно меньше, чем у начальной части графика. Разумеется, изложенные выше соображения нельзя напрямую распространить на макроскопическое поведение МАЭ при совместном действии магнитного поля и механической нагрузки. Однако наблюдается качественное сходство зависимости напряжения от деформации с экспериментом [1].

Библиографический список

1. *Stepanov G.V., Abramchuk S.S., Grishin D.A., Nikitin L.V., Kramarenko E.Yu., Khokhlov A.R.* Effect of a homogeneous magnetic field on the viscoelastic behavior of magnetic elastomers // Polymer. – 2007. – Vol. 48. – № 2. – P. 488–495.
2. *Столбов О.В.* Деформация магнитного эластомера с учетом магнитоиндуцированного структурообразования. // Вестник Пермского научного центра УрО РАН. – 2016. – № 4. – С. 78–81.

MODELING THE EFFECT OF SOFTENING IN MAGNETOACTIVE ELASTOMERS

O.V. Stolbov

Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS

For citation:
Stolbov O.V. Modeling the effect of softening in magnetoactive elastomers // Perm Federal Research Center Journal. – 2021. – № 3. – P. 13–16. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.2

Magnetoactive elastomers (MAE) are composites in which a polymer matrix is filled with microparticles of an isotropic ferromagnet with a low coercive force. The functionality of such materials is due to their ability to change the structure under the influence of an external magnetic field and is determined by the interaction of particles and a matrix on mesoscopic (the order of particle size) scales. In MAE, the effect of softening has been experimentally observed. This effect consists in the fact that in the range of deformations from 0,1 to 1%, the effective modulus of elasticity of the material drops sharply. This work looks into the development of a simple numerical model that qualitatively describes this softening effect. The formation of a chain of particles in an applied magnetic field and its destruction under the action of tensile and compressive mechanical forces are considered. The obtained results clarified the mechanisms of softening in MAE.

Keywords: magnetoactive elastomer, magnetomechanics, magnetoelasticity.

Сведения об авторе

Столбов Олег Валерьевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт механики сплошных сред УрО РАН (ИМСС УрО РАН), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1; e-mail: sov@icmm.ru

Материал поступил в редакцию 31.03.2021 г.

УДК 531.2 537.62

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОЛЕБАНИЙ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И ОСЦИЛЛЯЦИЙ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО КРОВОТОКА ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОМ ДЫХАНИИ *

И.А. Мизева, *Институт механики сплошных сред УрО РАН*
А.В. Танканаг, *Институт биофизики клетки РАН*
Г.В. Красников, *Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого*

Для цитирования:
Мизева И.А., Танканаг А.В., Красников Г.В. Взаимосвязь колебаний сердечного ритма и осцилляций периферического кровотока при контролируемом дыхании // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2021. – № 3. – С. 17–22. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.3

Сердечно-сосудистая система человека характеризуется сложным многоуровневым комплексом регуляторных структур с большим количеством внутренних и внешних связей. В функциональном аспекте наиболее тесное взаимодействие осуществляется между сердечно-сосудистой и респираторной системами, где важную роль играют нейрогенные регуляторные механизмы, обусловленные активностью симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. Целью данной работы является изучение характеристик ритмических процессов и их взаимосвязей на центральном и периферическом уровнях сердечно-сосудистой системы. Анализировали вариабельность сердечного ритма (по данным электрокардиографии), колебания кожной микроциркуляции (по данным фотоплетизмографии и лазерной допплеровской флоуметрии). Для обработки сигналов использован вейвлет-анализ.

Ключевые слова: *сердечно-сосудистая система, контролируемое дыхание, вариации частоты сердечных сокращений, симпатическая нервная система*.

Введение

Для сердечно-сосудистой системы человека характерно наличие ритмических процессов различной природы, изучение которых является целью проекта «Колебания в системе микроциркуляции крови человека в норме и при патологии». Этот проект направлен на экспериментальное исследование колебательных процессов в кровеносной системе как у здоровых добровольцев, так и у пациентов с сахарным диабетом [1], ревматическими заболеваниями [2], псориазом [3] и др. В рамках работы проведено построение

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 17-41-590560 р-а и № 18-015-00292), авторы благодарят добровольцев, участвовавших в исследовании.

методов диагностики заболеваний и контроля лечения на основе анализа колебаний в сердечно-сосудистой системе.

Вопрос взаимодействия ритмов дыхания и сердечно-сосудистых колебаний неоднократно рассматривался, начиная с работы [4] изучались вопросы направленности связи [5] и изменения параметров синхронизации с возрастом [6]. В работе [7] изучена роль режима дыхания (спонтанное, контролируемое по частоте и глубине) на параметры синхронизации физиологических ритмов. В серии работ [8–10] развиты методы и подходы для изучения синхронизации и фазового захвата в физиологических сигналах. Особенностью данной работы является детальное изучение синхронизации дыхания, ритма сердца и сигналов периферического кровотока, характеризующих колебания объема и скорости в дистальных сосудах.

Частота сердечных сокращений отражает интегративное влияние различных регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы, что приводит в вариабельности сердечного ритма (ВСР). С одной стороны, дыхание является одним из важнейших факторов, влияющих на ВСР, с другой – тонус периферических сосудов регулируется набором локальных и гуморальных физиологических факторов, которые также могут навязывать колебания физических параметров, описывающих сердечно-сосудистую систему, что проявляется, в том числе, в ВСР.

Дыхание сопровождается респираторной модуляцией центрального артериального и венозного давления, что обусловлено действием дыхательного насоса – одного из механизмов венозного возврата крови от периферии к сердцу [11, 12]. Влияние дыхания на кровоток в микрососудистой системе выражается в амплитудной модуляции пульсовой волны посредством пассивной передачи респираторных модуляций центрального кровяного давления. Кроме того, пульсовая волна может модулироваться респираторно-зависимой активностью симпатической нервной системы через вазомоторные механизмы контроля тонуса сосудов, что актуально в случае глубокого медленного дыхания [13]. Ранее было показано, что контролируемое дыхание с частотой ниже частоты спонтанного дыхания приводит к увеличению амплитуды колебаний ВСР, артериального и венозного давления и усиливает симпатическую активность. Отмечается, что амплитуда респираторно-зависимых колебаний ВСР и периферического кровотока увеличивается при глубоком контролируемом дыхании и эффект частотно-зависим [14].

Методика исследования

В исследовании приняли участие 13 здоровых нормотензивных некурящих добровольцев (3 мужчины и 10 женщин) в возрасте 20–21 год, вес составил 58±11 кг, рост 168±4 см, частота сердечных сокращений 72±9 ударов в минуту). У участников исследования не было выявлено патологий сердечно-сосудистой системы, дыхательных путей и кожных покровов. Из рациона добровольцев были исключены алкоголь, кофеин, вазоактивные медикаменты как минимум за 4 часа до проведения исследования. Измерения проводились при контролируемой температуре 20–24ºС после адаптации человека к условиям лаборатории. Во время исследования для каждого участника последовательно регистрировали 4 серии пятиминутных записей: первая при спонтанном дыхании, три последующих – при дыхании, контролируемом по глубине и частоте.

В сериях с контролируемым дыханием глубина была фиксированной и составляла 40% от максимальной жизненной емкости легких, измеряемой методом спирометрии, а частота дыхания составляла 0,04, 0,1 и 0,25 Гц. Для контроля дыхания на грудь испытуемого закреплялся датчик, регистрирующий экскурсии грудной клетки. Кривая с датчика через АЦП выводилась на монитор, и участник исследования старался дышать так, чтобы кривая с грудного датчика воспроизводила референтную кривую, представляющую собой гармонический

сигнал с заданной частотой. Отметим, что частота спонтанного дыхания обычно составляет ~0,25 Гц. Во время каждой фазы эксперимента регистрировались сигналы движения грудной клетки (пневмограмма), электрокардиограмма (ЭКГ), фотоплетизмограмма (ФПГ) и колебания объемной скорости кожного кровотока при помощи метода лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ).

Для определения ВСР зарегистрированные ЭКГ подвергали математической обработке в программе «Поли-Спектр» («Нейрософт», Россия) с целью обнаружения QRS-комплексов и преобразования в последовательности RR-интервалов – кардиоинтервалограммы (КИГ). На рис. 1 фрагменты всех зарегистрированных сигналов для одного участника исследования.

ЛДФ и ФПГ являются стандартными технологиями для исследования состояния микроциркуляторного кровотока. Экспериментальные исследования демонстрируют хорошую корреляцию между этими сигналами для определенных физиологических частотных диапазонов. Несмотря на сходную биофизическую основу этих технологий, различие в используемых физических принципах регистрации оптического сигнала ведет к тому, что соответствующая информация о перфузии получается из разных глубин, что, в свою очередь, приводит к тому, что характеристики сигналов кровотока, зарегистрированных ЛДФ и ФПГ, могут различаться, в частности во время приспособительных (гомеостатических) процессов. Анализ этих различий, на наш взгляд, может предоставить дополнительную информацию о механизмах формирования и взаимосвязи осцилляций кровотока на уровне микроциркуляции.

Для анализа колебаний полученных сигналов применяется вейвлет-анализ, в качестве анализирующей функции выбран вейвлет Морле. Методика подробно описана в работе [1], для количественного анализа изменения энергии пульсаций

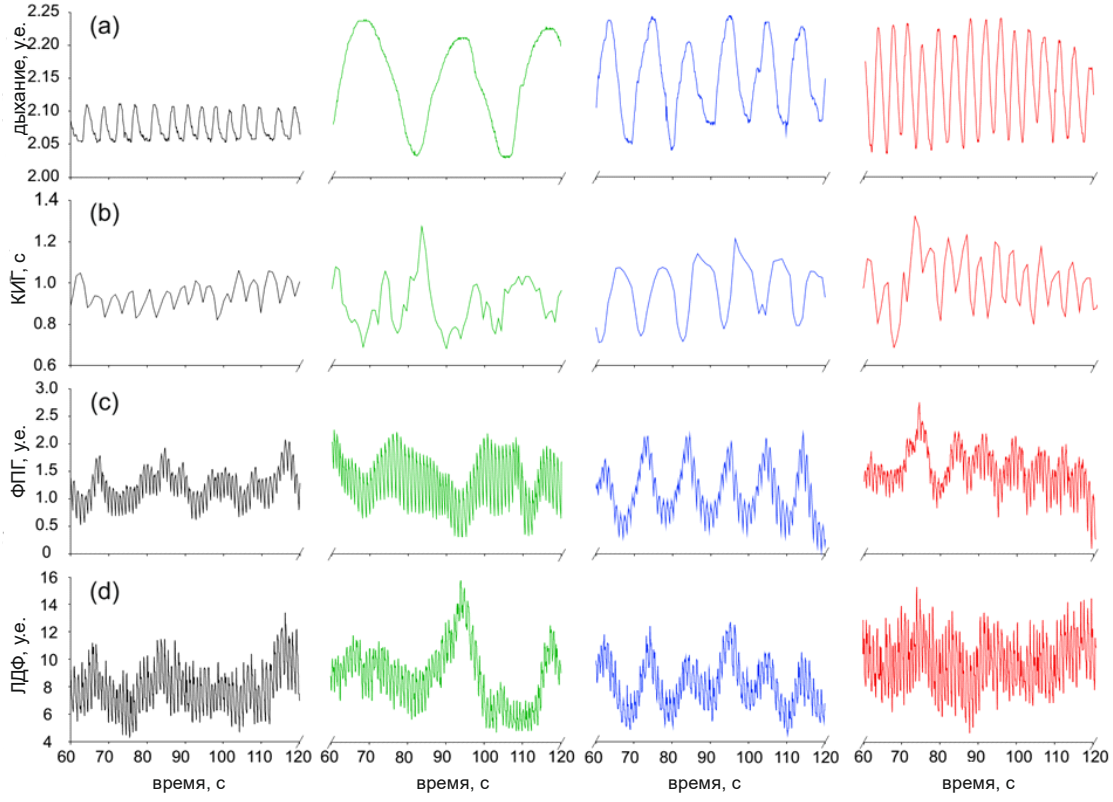


Рис. 1. Характерный вид сигналов дыхания (a), КИГ (b), ЛДФ (c) и ФПГ (d). Разными цветами обозначены различные фазы эксперимента: черный – спонтанное дыхание, зеленый – дыхание с частотой 0,04 Гц, синий – 0,1 Гц, красный – 0,25 Гц

рассчитывается коэффициент усиления как отношение энергии пульсаций в сигналах КИГ, ЛДФ и ФПГ на частоте контролируемого дыхания к аналогичным параметрам во время спонтанного дыхания.

Результаты

На рис. 2 представлен коэффициент усиления энергии колебаний в сигналах КИГ, ФПГ и ЛДФ при различных частотах контролируемого дыхания. Анализируя представленные диаграммы, можно отметить, что контролируемое дыхание сопровождается увеличением энергии респираторно-связанных колебаний во всех исследуемых сигналах. При этом в сигналах КИГ и ФПГ (рис. 2, *a, b*) эффект имеет частотно-зависимый характер: дыхание с частотой 0,04 и 0,1 Гц вызывает достоверно большее увеличение энергии пульсации на соответствующей частоте дыхания по сравнению с частотой дыхания 0,25 Гц. В сигнале ЛДФ, напротив, увеличение энергии колебаний не зависит от частоты дыхания (рис. 2, *c*). Дыхание с частотой 0,04 и 0,1 Гц вызывает значительное увеличение энергии пульсации в сигналах КИГ и ФПГ (рис. 2 *a, b*) на данных частотах, причем этот коэффициент значимо выше, чем для частоты 0,25 Гц. В сигнале ЛДФ увеличение энергии колебаний не зависит от частоты дыхания (рис. 2, *c*).

Для оценки взаимосвязи колебаний на различных частотах был использован вейвлет кросс-корреляционный анализ [15]. На рис. 3 и 4 показаны осредненные по группе вейвлет кросс-корреляции пар анализируемых сигналов при спонтанном и контролируемом дыхании. Для всех режимов контролируемого дыхания наблюдается значимое увеличение корреляции колебаний в парах дыхание – КИГ, дыхание-ФПГ и дыхание – ЛДФ на частоте дыхания (рис. 3). Обнаружено, что при дыхании с частотой 0,4 и 0,1 Гц корреляции в парах КИГ – ФПГ и КИГ – ЛДФ значимо нарастают (рис. 4). В паре ЛДФ – ФПГ корреляции достаточно высокие и при спонтанном дыхании, и контролируемое дыхание не приводит к значимому увеличению корреляции (рис. 4).

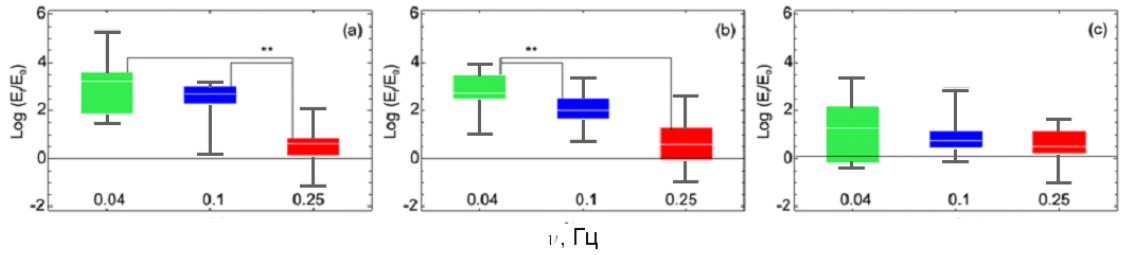


*Рис. 2. Диаграмма размаха для изменения энергии колебаний КИГ и периферического кровотока при разных частотах контролируемого дыхания по сравнению со спонтанным дыханием. КИГ (a), ЛДФ (b), ФПГ (c). Разными цветами обозначены различные фазы эксперимента: зеленый – дыхание с частотой 0,04 Гц, синий – 0,1 Гц, красный – 0,25 Гц. Здесь и далее на диаграммах размаха границы прямоугольников показаны 25%, 50%, 75%, усы соответствуют наблюдаемым минимумам и максимумам распределения. Символ ** соответствует p<0,01*

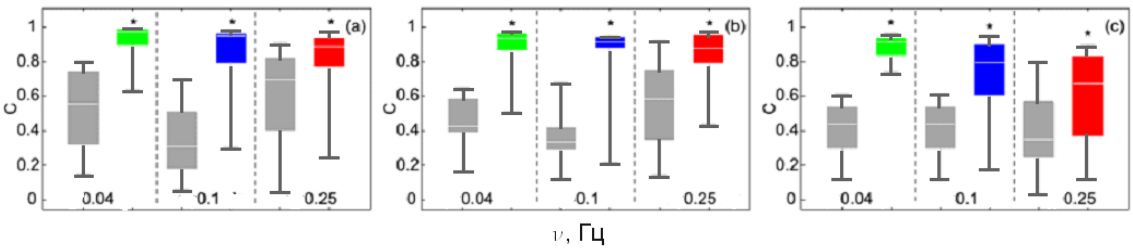


*Рис. 3. Вейвлет-корреляция сигналов дыхания с КИГ (a), ЛДФ (b), ФПГ (c) при спонтанном (серый) и контролируемом (зеленый – 0,04 Гц, синий – 0,1 Гц, красный – 0,25 Гц) дыхании. Символ * здесь и далее обозначает p<0,05*

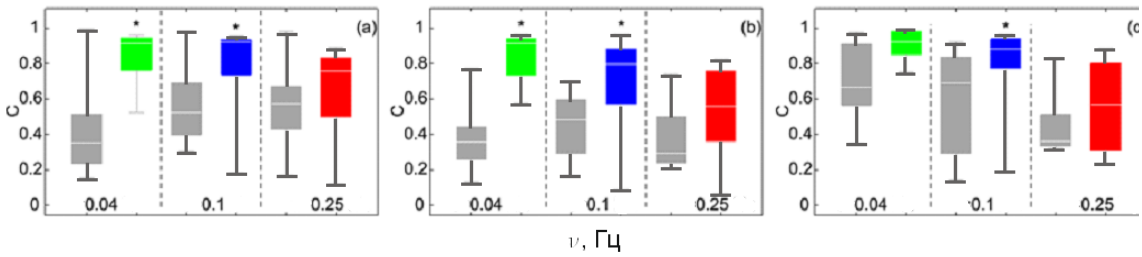


Рис. 4. Вейвлет-корреляция следующих пар сигналов: КИГ-ФПГ (a), КИГ-ЛДФ (b), ФПГ-ЛДФ (c)

Обсуждение и выводы

В рамках работы был создан уникальный экспериментальный протокол дыхательного теста, который позволил контролировать как частоту, так и глубину дыхания, опираясь на данные грудного датчика, показания которого выводились на монитор компьютера и сравнивались с опорным сигналом в режиме реального времени. Глубина дыхания во всех тестах была одинаковой, а изменялась только частота.

Установлено, что колебания во всех трех зарегистрированных сигналах коррелируют с дыханием, кроме того, существует высокая корреляция в парах КИГ – ФПГ, КИГ – ЛДФ и ФПГ – ЛДФ при контролируемом дыхании с 0,04 и 0,1 Гц. Эта корреляция значительно выше, чем при спонтанном дыхании. При контролируемом дыхании с частотой 0,25 Гц, близкой к частоте спонтанного дыхания, мы не обнаружили существенного увеличения корреляции в исследуемых парах сигналов на заданных частотах и предполагаем, что выявленные особенности обусловлены в первую очередь физиологическими особенностями формирования сигналов ФПГ и ЛДФ, в частности влиянием симпатической нервной системы на тонус мелких сосудов.

Библиографический список

1. *Mizeva I., Zharkikh E., Dremin V., Zherebtsov E., Makovik I., Potapova E., Dunaev A.* Spectral analysis of the blood flow in the foot microvascular bed during thermal testing in patients with diabetes mellitus // Microvascular research. – 2018. – Vol. 120. – P. 13–20.
2. *Mizeva I., Makovik I., Dunaev A., Krupatkin A., Meglinski I.* Analysis of skin blood microflow oscillations in patients with rheumatic diseases // Journal of Biomedical Optics. – 2017. – Vol. 22(7). – 070501.
3. *Потапова Е.В., Филина М.А., Козлов И.О., Жарких Е.В., Дрёмин В.В., Малая Н.С., Снимщикова И.А., Дунаев А.В., Сидоров В.В., Крупаткин А.И.* Особенности локальной микроциркуляции крови у пациентов с псориазом // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – Т. 17. – № 3. – С. 58–64.
4. *Schäfer C., Rosenblum M.G., Abel H.-H., Kurths J.* Synchronization in the Human Cardiorespiratory System // Physical Review E. – 1999. –Vol. 60. – P. 857–870.
5. *Rosenblum M.G., Cimponeriu L., Bezerianos A., Patzak A., Mrowka R.* Identification of coupling direction: Application to cardiorespiratory interaction// Physical Review E. – 2002. – Vol. 65. – P. 041909.
6. *Shiogai Y., Stefanovska A., McClintock P.V.E.* Nonlinear dynamics of cardiovascular ageing // Physics Reports. – 2010. – Vol .488. – P. 51–110.
7. *Prokhorov M.D., Ponomarenko V.I., Gridnev V.I., Bodrov M.B., Bespyatov A.B.* Synchronization between main rhythmic processes in the human cardiovascular system // Phys. Rev. E. – 2003. – Vol. 68. – 041913.
8. *Боровкова Е.И., Караваев А.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д, Безручко Б.П.* Диагностика частотного захвата в условиях воздействия сигналом переменной частоты // Изв. РАН. Сер. Физическая. – 2011. – Т. 75. – № 12. – С. 1704–1708.
9. *Караваев А.С., Киселев А.Р., Гриднев В.И., Боровкова Е.И., Прохоров М.Д., Посненкова О.М., Пономаренко В.И., Безручко Б.П., Шварц В.А.* Фазовый и частотный захват 0,1 Гц колебаний в ритме сердца и барорефлекторной регуляции артериального давления дыханием с линейно меняющейся частотой у здоровых лиц // Физиология человека. – 2013. – Т. 39. – № 4. – С. 105–111.
10. *Karavaev A.S., Kiselev A.R., Runnova A.E., Zhuravlev M.O., Borovkova E.I., Prokhorov M.D., Ponomarenko V.I., Pchelintseva S.V., Efremova T.Yu., Koronovskii A.A., Hramov A.E.* Synchronization of infra-slow oscillations of brain potentials with respiration // Chaos. – 2018. – Vol. 28. – P. 081102.

11. *Meredith D.J., Clifton D., Charlton P., Brooks J., Pugh C.W., Tarassenko L.* Photoplethysmographic derivation of respiratory rate: a review of relevant physiology // Journal of Medical Engineering & Technology. – 2012. –Vol. 36 (1).
12. *Bollinger A., Yanar A., Hoffmann U., Franzeck U. K.* Is high-frequency flux motion due to respiration or to vasomotion activity? in: *C. Allegra, M. Intaglietta, K. Messmer* (eds.), Vasomotion and Flow Motion. – 1993. – Vol. 20. – P. 52–58.
13. *Russo M.A., Santarelli D.M., ORourke D.* The physiological effects of slow breathing in the healthy human // Breathe. – 2017. – Vol. 13 (4). – P. 298–309.
14. *Krasnikov G.V., Tyurina M.Y., Tankanag A.V., Piskunova G.M., Chemeris N.K.* Analysis of heart rate variability and skin blood flow oscillations under deep controlled breathing. // Respiratory Physiology and Neurobiology. – 2013. – Vol. 185 (3). – P. 562–570.
15. *Tankanag A., Krasnikov G., Mizeva I.* A pilot study: Wavelet cross-correlation of cardiovascular oscillations under controlled respiration in humans // Microvascular research. – 2020. – Vol. 130. – 103993.

RELATION OF CARDIOVASCULAR OSCILLATIONS UNDER CONTROLLED RESPIRATION IN HUMANS

I.A. Mizeva[1], A.V. Tankanag[2], G.V. Krasnikov[3]

[1]*Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS*
[2] *Institute of Cell Biophysics RAS, Pushchino*
[3]*Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University*

For citation:
Mizeva I.A., Tankanag A.V., Krasnikov G.V. Relation of cardiovascular oscillations under controlled respiration in humans // Perm Federal Research Center Journal. – 2021. – № 3. – P. 17–22. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.3

The human cardiovascular system is characterized by multi-level complex of regulatory structures with a large number of internal and external connections. In the functional aspect, the closest interaction is carried out between the cardiovascular and respiratory systems, where neurogenic regulatory mechanisms play an important role due to the activity of the sympathetic and parasympathetic parts of the autonomic nervous system. The aim of this work is to study the characteristics of rhythmic processes and their relationships in various parts of the cardiovascular system recorded using non-invasive methods (ECG, photoplethysmography and laser Doppler flowmetry). For signal processing, wavelet analysis is used.

Keywords: cardiovascular system, controlled respiration, heart rate variability, autonomic nervous system.

Сведения об авторах

Мизева Ирина Андреевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физической гидродинамики, Институт механики сплошных сред УрО РАН (ИМСС УрО РАН), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1; e-mail: mizeva@icmm.ru

Танканаг Арина Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной нейробиологии, Институт биофизики клетки РАН – обособленное подразделение Пущинского научного центра биологических исследований РАН (ИБК РАН), 142290, г. Пущино Московской области, Институтская, 3; e-mail: tav@icb.psn.ru

Геннадий Викторович Красников, кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин и фармакогнозии, Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого (ТГПУ им. Л.Н. Толстого), 300026, Тульская обл., г. Тула, просп. Ленина, д. 125.; e-mail: gvkrasnikov@gmail.com

Материал поступил в редакцию 31.03.2021 г.

УДК 004.94

МИКРОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОДЕФОРМАЦИОННОГО ОТКЛИКА ОБРАЗЦОВ ФЕРРОГЕЛЕЙ С РАЗНОЙ СТРУКТУРОЙ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ *

П.В. Меленев, *Институт механики сплошных сред УрО РАН*
А.В. Рыжков, *Институт механики сплошных сред УрО РАН*

Для цитирования:
Меленев П.В., Рыжков А.В. Микромасштабное моделирование магнитодеформационного отклика образцов феррогелей с разной структурой полимерной матрицы // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2021. – № 3. – С. 23–33. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.4

Феррогели – это мягкие магнитно-активные композиционные материалы, матрицей в которых служат, как правило, гидрогели, а наполнителем – ферромагнитные коллоидные частицы. Ярко выраженная взаимосвязь магнитных и механических характеристик подобных материалов, а также их биосовместимость открывают возможность применения феррогелей в широком круге биомедицинских приложений. Сложность прямых наблюдений за процессами, происходящими на структурном масштабном уровне и играющими ключевую роль в формировании уникальных свойств феррогелей, повышает значение теоретических исследований внутреннего состояния материала.

В работе представлены результаты моделирования поведения малого образца феррогеля, полученные с применением метода крупнозернистой молекулярной механики. Матрица композита имитируется квазирегулярной сеткой идеальных полимерных цепей, а магнитные частицы включения, обладающие однодоменной структурой и одноосной магнитной анизотропией, помещаются в узлы этой сетки. Рассмотрено состояние образца в отсутствии внешнего воздействия, а также в циклах квазистатического намагничивания для двух вариантов топологии полимерной сетки (простой кубической и алмазоподобной), для различных величин магнитного момента частиц, их концентрации, а также энергии анизотропии.

Моделирование показало, что применение более мягкой матрицы с алмазоподобной структурой усиливает магитодеформационные эффекты. Наличие магнитной анизотропии приводит к возникновению дополнительных локальных напряжений при переориентации магнитных моментов, что затрудняет агрегирование частиц и намагничивание материала. Кроме того, обнаружено, что энергия анизотропии определяет характер изменения объёма образца в поле.

* Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 17-41-590123 р_а проекта «Микромасштабное моделирование магнито-деформационного отклика образцов феррогелей».

Ключевые слова: *мягкий магнитный композит, феррогель, молекулярная динамика, управляемая доставка лекарств.*

Введение

Феррогели (ФГ) представляют собой один из классов современных функциональных композитных материалов с ярко выраженной взаимосвязью магнитных и механических характеристик. Комбинация в составе ФГ высокоэластичной гелевой (гидрогелевой, во многих реальных образцах) матрицы и наполнения из ферромагнитных наноразмерных частиц позволяет получить биосовместимый материал, заметно реагирующий на магнитные поля даже сравнительно невысокой интенсивности, допустимые для применения *in vivo* [1] в таких задачах, как контролируемая доставка лекарств [2] или магнитная гипертермия раковых клеток [3]. А предельная мягкость гидрогелевой матрицы (чей упругий модуль составляет единицы кПа или менее) допускает значительное перемещение частиц включения, вызванное магнитными силами и способное привести к деформации или даже разрушению образца.

Эта особенность материала открывает дополнительный ряд потенциальных приложений ФГ: управляемое высвобождение лекарственных средств в заданной зоне организма [4], создание искусственных мускулов [5] и других тканей [6], восстановительная медицина [7] и др. Развитие этих и других областей применения ФГ требует понимания процессов, происходящих в материале под действием магнитных сил. Решение этой задачи осложняется тем, что прямое наблюдение за состоянием ФГ на структурном уровне до сих пор связано со значительными экспериментальными трудностями. В этих условиях теоретические и, в частности, численные исследования эволюции внутренней структуры ФГ могут быть чрезвычайно полезны для дальнейшего развития материалов этой группы.

К основным факторам, определяющим поведение ФГ, относятся способ включения частиц наполнителя в полимерную матрицу, топология полимерной сетки, под которой понимается пространственная структура полимерных сшивок, и тип этих сшивок. По последнему из свойств можно разделить полимерные гели на две основные группы. К первой из них относятся «физические» гели со сравнительно слабыми межцепочными сшивками, основанными на вандервальсовом взаимодействии сегментов, водородных связях либо слабом электростатическом взаимодействии. В гелях второго, «химического» типа для сшивок используются ковалентные связи, по энергии на несколько порядков превосходящие связи в «физических» гелях [8]. Это делает структуру сшивок у «химических» гелей значительно более стабильной. Магнитные наночастицы могут быть внедрены в гелевую матрицу как «физическим» [9], так и «химическим» [10] способами.

Во избежание сложностей, связанных с моделированием возможного разрушения слабых типов сшивок в процессе перемещения частиц и деформирования образца, мы сконцентрировали наше внимание на ФГ «химического» типа и считали структуру сшивок в материале неизменной. Большинство реальных образцов не обладают какой-то заданной регулярной топологией полимерной сетки. И есть теоретические работы, в которых сделана попытка воспроизвести случайную структуру сшивок. Например, в [11] эта структура возникает непосредственно в процессе расчёта. Получение качественных данных с применения подобных моделей требует рассмотрения образцов достаточно большого объёма либо усреднения по большому числу реализаций для сглаживания вклада неоднородностей в распределении сшивок. В нашей работе применен другой подход, заключающийся в сравнении результатов моделирования образцов с квазирегулярными полимерными сетками разных типов.

Как было отмечено выше, уникальные свойства ФГ во многом объясняются возможностью магнитоиндуцированных из-

менений в распределении наполнителя материала. Поэтому одной из задач данной работы было наблюдение за формированием кластеров частиц включения под действием магнитных сил. Кроме того, исследовалось изменение объёма образца при намагничивании – свойства, важного, например, для задачи контролируемого высвобождения лекарственных средств. Рассматривалось поведение образцов ФГ с разными значениями концентрации наполнителя, магнитного момента частиц и пороговой энергии магнитной анизотропии.

Модель

В основе нашей модели лежит так называемый подход крупнозернистой молекулярной динамики (coarse-grained molecular dynamic), согласно которому при моделировании выбирается уровень детальности описания рассматриваемой системы, достаточный для воспроизведения наиболее важных, с точки зрения исследования, процессов. Прочие же аспекты поведения системы описываются упрощенно либо не учитываются в модели. Данный подход уже был успешно применен для численного исследования магнитополимерных композитов [12].

Предполагается, что в рассматриваемых условиях ни взаимодействия внутри материала, ни внешние воздействия не могут менять внутренней структуры полимерных макромолекул и магнитных наночастиц. Поэтому были выбраны следующие модели элементов композита без детализации их строения. Полимерные фрагменты макромолекул между узлами сетки описываются в виде цепей из одинакового числа жёстких сегментов – «блобов» – диметром d_b, связи между которыми описываются гармоническим потенциалом

$$U^{\mathrm{el}}\left(r_i, r_j\right) = K^{\mathrm{el}}\left(\left|r_i - r_j\right| - l_0\right)^2, \qquad (1)$$

где r_i, r_j – это радиус-векторы центров i-го и j-го блобов, K^{el} – упругий модуль, $l_0=d_b$ – равновесная длина связи.

Упругие связи с потенциалом (1) применяются и для соединения полимерных цепей с магнитными частицами, но в этом случае r_j представляет собой радиус-вектор точки крепления на поверхности частицы.

Магнитное включение тоже представлено в виде жёстких сфер одинакового диаметра $d_p=3d_b$. Частицы имеют однодоменную магнитную структуру, то есть их магнитные моменты сохраняют постоянную величину μ, но могут менять своё направление. Кроме того, частицы обладают одноосной магнитной анизотропией с заданной пороговой энергией E_A. Предполагается, что частицы взаимодействуют между собой, как точечные диполи. Таким образом, магнитная часть энергии k-й частицы включения имеет вид

$$U_k^{\mathrm{magn}} = -\mu_0 \mu \mathbf{e}_k \cdot \mathbf{H_0} - E_A\left(\mathbf{e}_k \cdot \mathbf{n}_k\right)^2 + \\ + \frac{\mu_0}{4\pi}\mu^2 \sum_{i,i\neq k}^{N^{\mathrm{magn}}} \left(\frac{\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{e}_k}{r_{ik}^{\,3}} - \frac{3\left(\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{r}_{ik}\right)\left(\mathbf{e}_k \cdot \mathbf{r}_{ik}\right)}{r_{ik}^{\,3}} \right), \qquad (2)$$

где μ_0 – магнитная восприимчивость вакуума, $\mathbf{H}_0$ – внешнее магнитное поле, $\mathbf{e}_k$, $\mathbf{n}_k$ – орты направлений магнитного момента и оси лёгкого намагничивания частицы, соответственно; N^{magn} – общее число магнитных частиц в системе.

Полимерные цепи крепятся к магнитным частицам в точках их поверхности, выбранных в соответствии с топологией полимерной сетки. Таким образом, матрица деформируется как при перемещении, так и при вращении частиц включения. При этом, сама матрица может влиять и на поступательные, и на вращательные степени свободы частиц.

Стерические взаимодействия элементов модели – частиц и «блобов» – имитируются на основе ограниченного потенциала Леннарда-Джонса (ЛЖ):

$$U^{\sqcup}\left(r_{ij}\right) = \begin{cases} 4\varepsilon\left[\left(\dfrac{s}{r_{ij}}\right)^{12} - \left(\dfrac{s}{r_{ij}}\right)^{6} + \dfrac{1}{4}\right], \\ 0, \end{cases} \\ 0 \le r_{ij} \le R_{\mathrm{cutoff}} \qquad (3) \\ r_{ij} > R_{\mathrm{cutoff}}$$

здесь $r_{ij} = \left|\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i\right|$ – расстояние между центрами элементов модели,

$R_{\text{cutoff}} = \frac{1}{2}\left(d_i + d_j\right)$ – полусумма их диаметров, ε и $s = 2^{-1/6} R_{\text{cutoff}}$ – соответственно, энергетический и пространственный параметры потенциала Леннард-Джонса.

Процесс моделирования заключается в численном интегрировании уравнений движения всех элементов модели. Наличие тепловых колебаний магнитных и пространственных степеней свободы, существенное для рассматриваемых процессов, происходящих на субмикронном масштабе при комнатной температуре, учитывается включением в уравнения движения слагаемых, описывающих действие термостата Ланжевена с заданной постоянной температурой *T*. Отношение характерных магнитных энергий системы к энергии теплового движения задаёт значения следующих безразмерных параметров модели:

$$\lambda = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\mu^2}{d_{\text{p}}^3 k_{\text{B}} T}, \quad \xi = \mu_0 \frac{\mu H_0}{k_{\text{B}} T}, \quad \sigma = \frac{E_{\text{A}}}{k_{\text{B}} T}, \quad (4)$$

где величины λ, ξ, σ отражают, соответственно, интенсивность дипольного взаимодействия двух частиц, энергию Зеемана взаимодействия магнитного момента частицы с внешним полем и энергию магнитной анизотропии частицы.

Детальное описание модели можно найти в нашей работе [13], где также вычислены значения параметров модели в размерных величинах и показано, что они согласуются с экспериментальными данными по ФГ с гидрогелевой матрицей. В целом эта работа посвящена описанию поведения образцов ФГ с квазикубической структурой полимерной сетки. Результаты расчётов показали, что выбранный тип топологии матрицы приводит к достаточно высокой жёсткости образцов. Для того чтобы усилить магнитодеформационные эффекты, было принято решение рассмотреть материал с меньшей плотностью сшивок, а именно, обладающий полимерной сеткой с алмазоподобной структурой. В этом случае каждый узел сетки связывает 4 полимерные цепочки, а не 6, как в варианте простой кубической структуры. В одни узлы сетки помещаются магнитные частицы, в другие – полимерные «блобы». Доля «магнитных» узлов, обозначенная как **c**, отражает концентрацию магнитного наполнителя в композите. Образец может включать до 1 000 магнитных частиц, в этом случае все узлы полимерной сетки являются «магнитными» и c = 1,0. В данной работе представлены результаты для c = 0,2…0,8, что соответствует объёмной доле частиц φ от 0,6 до 5%об. Этот диапазон значений φ согласуется с данными реальных ФГ [14, 15].

Для количественной оценки наличия магнитных кластеров в материале в нашей работе используется параметр агрегирования q_n, равный доле магнитных частиц образца, имеющих по крайней мере *n* магнитных частиц в ближайшем окружении (в наших расчётах радиус поиска задавался равным 1,1 q_{p}). Это означает, что значение q_1 отражает долю частиц, участвующих в любых агрегатах; q_2 уже не учитывает частицы, включённые в изолированные пары и расположенные на концах цепей; q_3 включает в себя лишь участки ветвления и объёмные кластеры, но не частицы внутри изолированных цепей.

Результаты

Первым этапом работы было исследование зависимости состояния образцов ФГ в отсутствии внешних нагрузок от характеристик частиц и топологии матрицы. На втором этапе расчётов рассматривалось поведение материала в циклах квазистатического намагничивания, имитируемых следующим образом: однородное магнитное поле было направлено вдоль оси 0z декартовой системы координат, а его напряжённость ступенчато увеличивалась от 0 до максимального значения $H_{\max}$, а затем уменьшалась обратно до нуля. Между моментами изменения поля проводилось число расчётных шагов, достаточное для получения состояния, близкого к равновесному. Расчёты проводились с использова-

нием пакета ESPResSo [16] на компьютерном кластере Triton вычислительного центра ПФИЦ УрО РАН.

Результаты расчетов без поля. Для оценки роли дипольного магнитного взаимодействия в формировании внутренней структуры ФГ в исходном, ненамагниченном состоянии были получены зависимости значения q_n от λ при различных величинах энергии анизотропии. Отметим, что во всех проведённых расчётах, как без поля, так и в его присутствии, $q_n \approx 0$ для n≥3. Это означает, что в рассматриваемых вариантах образцов ФГ отсутствуют кластеры топологически более сложные, чем пары и отдельные цепи.

На рис. 1 представлены результаты расчёта q_1 и q_2 для предельных значений и концентрации частиц (c = 0,2, 0,8), и энергии анизотропии (σ=0,∞). В отсутствии внешних нагрузок дипольное взаимодействие является единственной движущей силой перемещения магнитных частиц, и в образцах с высокой концентрацией частиц и/или более высоким значением параметра λ (отражающим величину магнитного момента частиц) бóльшая доля частиц включается в формирование агрегатов. Магнитная анизотропия, напротив, затрудняет кластеризацию, так как наличие лёгкой оси намагничивания у частицы приводит к тому, что переориентация магнитного момента может повлечь за собой поворот «тела» частицы. А это, в свою очередь, может привести к возникновению механических напряжений в прилегающей матрице даже в отсутствии трансляционных перемещений частицы. Как следствие, в образцах, наполненных частицами с высоким значением энергии анизотропии, магнитоиндуцируемые деформации требуют большей интенсивности магнитных взаимодействий, то есть большей величины магнитного момента частицы и внешнего поля (значениями параметров λ и ξ, соответственно).

Расчёты вариантов модели с разной топологией полимерного связующего ожидаемо показали, что в образцах с алмазоподобной структурой сетки (на графиках данные для этого типа матрицы отмечены ромбами) агрегирование частиц проходит более активно, чем в материале с «кубической» сеткой (квадратики на графиках). Для примера посмотрим на зависимость q_2, представленную на рис. 1, *б*: в образцах с алмазоподобной структурой связующего, высокой концентрацией наполнителя и значением λ≥5,5 от 50% и более частиц входят в цепи (рис. 2, *а*). А при λ≥8,5 этот уровень кластеризации достигается даже в образцах с низкой концентрацией частиц. В то же время в материале с кубической топологией полимерной сетки схожие значения q_2 демонстрируют только высоконаполненные образцы и лишь при магнитоизотропных частицах (рис. 2).

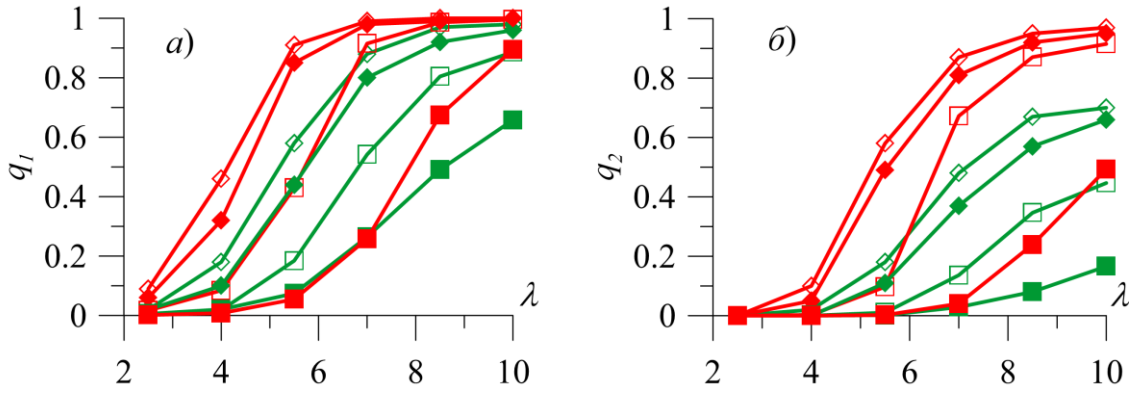


Рис. 1. Зависимость параметров агрегирования q_1,q_2 от параметра дипольных взаимодействий λ. Цвет графиков соответствует концентрации частиц: зелёный – c=0,2, красный – c=0,8. Тип символов указывает на структуру матрицы: ромбы – алмазоподобную, квадраты – с квазикубическую. Пустыми символами отмечены результаты магнитоизотропных частиц (то есть σ=0), а закрашенными – случай σ=0

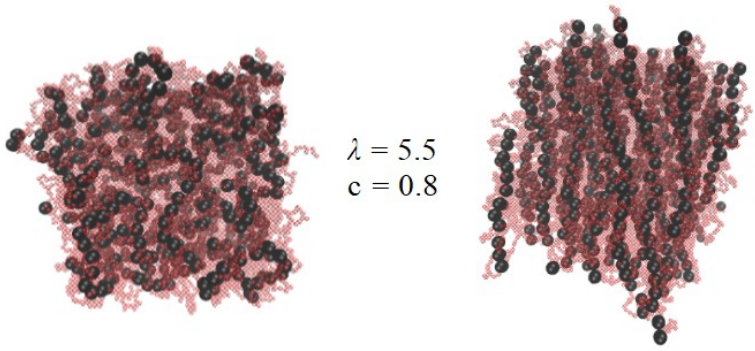


Рис. 2. Примеры состояний образцов феррогеля с высокой интенсивностью магнитных взаимодействий частиц в отсутствии (а) либо в присутствии (б) внешнего магнитного поля

Результаты расчетов в поле

Моделирование циклов намагничивания ФГ не выявило заметных проявлений гистерезисного поведения у рассмотренных образцов. Поэтому на приводимых ниже графиках полевых зависимостей не показаны ветки, соответствующие размагничиванию образцов.

Степень намагниченности материала внешним полем, интенсивность которого измерялась в единицах ξ, характеризовалась усредненной по образцу величиной компоненты магнитного момента частицы, параллельной полю и отнесённой к модулю магнитного момента – $\langle\mu_z\rangle/\mu$. Соответствующая зависимость представлена на рис. 3. Видно, что межчастичные магнитные взаимодействия (чья средняя интенсивность растёт вместе с концентрацией частиц и/или величиной λ) могут влиять на процесс намагничивания противоположным образом в зависимости от энергии анизотропии частиц. Так, при σ=∞ межчастичные магнитные силы затрудняют намагничивание и соответствующие графики лежат ниже кривой функции Ланжевена, описывающей намагничивание ансамбля невзаимодействующими магнитоизотропных частиц. А при нулевом значении σ, напротив, в образцах с более интенсивными магнитными взаимодействиями моменты частиц легче ориентируются внешним полем, а зависимости $\langle\mu_z\rangle/\mu$ от ξ лежат выше кривой функции Ланжевена.

Данный эффект можно объяснить тем, что как было отмечено выше, в образцах, наполненных частицами с высокой энер-

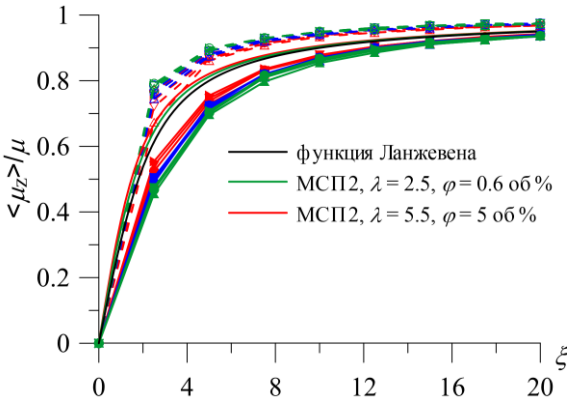


Рис. 3. Зависимость проекции среднего магнитного момента на направлении внешнего поля от его величины (выраженной в единицах ξ) для образцов феррогеля с разными параметрами наполнителя. Цвет графиков указывает на интенсивность дипольного взаимодействия частиц: зелёный – λ=2,5, синий – λ=4,0, красный – λ=5,5. Тип символов соответствует концентрации частиц: ● – c=0,2, ► – c=0,35, ▼ – c=0,5, ▲ – c=0,8. Пустые символы и штриховые линии соответствуют результатам магнитоизотропных частиц (то есть σ=0), а закрашенные символы и сплошные линии – случаю σ=∞

гией анизотропии, переориентация магнитного момента вызывает поворот самой частицы и, соответственно, упругий ответ окружающей её матрицы. Причём эти локальные напряжения дополнительно затрудняют и трансляционные перемещения частиц, в том числе и способствующие намагничиванию материала: формирование новых либо достраивание уже существующих магнитных кластеров, их ориентирование вдоль поля. А в случае низких значений σ, в отсутствии описанных выше магнитоиндуцированных локальных деформаций, материал обладает эффективно более мягкой матрицей, которая допускает более свободную перестройку структуры наполнителя, в частности, ориентацию цепей частиц по внешнему полю (см. рис. 2, *б*).

Это объяснение подтверждается данными о зависимости от ξ параметров агрегирования, представленными на рис. 4. У образцов с σ=∞ значения q_1, q_2 растут вместе с полем. В то же время в образцах с магнитоизотропным наполнителем наблюдается некоторое снижение параметра агрегирования при намагничивании. Это можно объяснить тем, что в отсутствии поля агрегаты расположены произвольным образом (см. рис. 2, *а*), и существенная часть частиц входит в фрагменты цепей, ориентированные неколлинеарно к направлению внешнего поля (оси Oz). И возможны случаи, когда при намагничивании энергетически более выгодно не выстраивать искривлённый агрегат по полю целиком, а разорвать его и ориентировать части по отдельности. При этом некоторые частицы, оказавшиеся в «невыгодных» фрагментах, при разрыве агрегата могут не войти ни в один из образовавшихся кластеров, что приводит к уменьшению значения q_1.

Дополнительную информацию о роли упругого связующего ФГ в формировании магнитного отклика материала можно получить из сравнения наших результатов с данными о статическом намагничивании аналогичных по наполнителю магнитных жидкостей с вязкой несущей средой. Такие равновесные кривые намагничивания были построены на основе так называемого модифицированного метода среднего поля второго порядка (МСП2). Этот теоретический подход, предложенный А.О. Ивановым и О.Б. Кузнецовой и представлен, например, в работе [17], хорошо описывает экспериментальные данные для широкого диапазона концентраций магнитных жидкостей.

На рис. 3 представлены две кривые, построенные согласно МСП2 для систем, соответствующих по величине магнитного момента и средней концентрации частиц вариантам наших образцов с наименьшей (c=0,2, то есть φ=0,6%об, и λ=2,5) и наибольшей (c=0,8, то есть φ=5%об, и λ=5,5) интенсивностью дипольных взаимодейст-

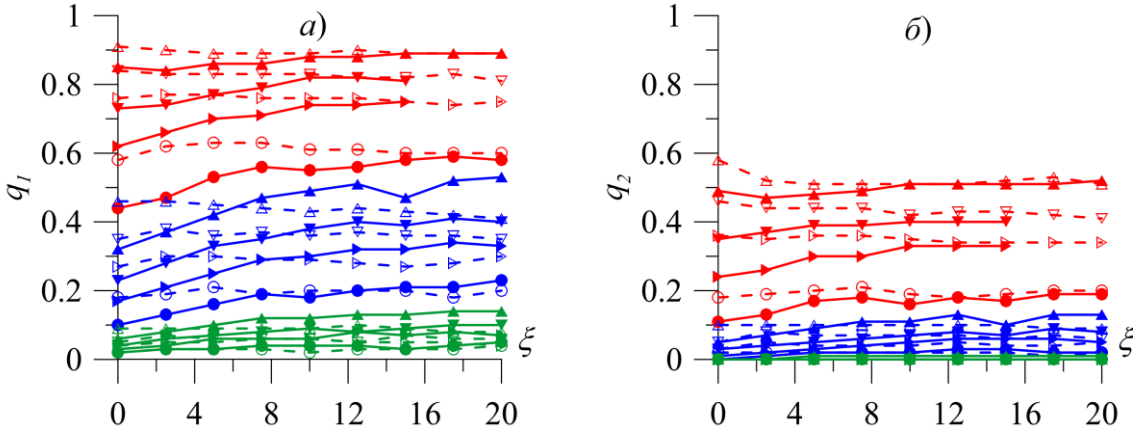


Рис. 4. Зависимость параметров агрегирования q_1,q_2 от величины внешнего поля, выраженной в единицах ξ, для образцов феррогеля с разными параметрами наполнителя. Цвета, типы символов и линий имеют то же значение, что и на рис. 3

вий. Видно, что оба графика лежат над кривой Ланжевена – с той же «стороны», что и расчётные данные образцов с σ=0. Отметим, что магнитная анизотропия частиц не влияет на равновесные значения намагниченности магнитной жидкости, что видимо и делает сходным магнитное поведение частиц в них и в феррогелях с магнитоизотропным наполнителем. В то же время кривые МСП2 находятся ближе к кривой Ланжевена, чем любая из полученных нами для образов ФГ. Последнее наблюдение можно объяснить тем, что упругая матрица композита частично демпфирует тепловые колебания частиц и тем самым стабилизирует магнитные агрегаты, наличие которых усиливает магнитный отклик системы.

Одной из областей применения ФГ является разработка систем адресной доставки и высвобождения лекарственных средств. Например, можно предложить следующую схему: образец субмикронных размеров наполняется водным раствором препарата; полученный контейнер запускается в кровеносную систему, возможно с применением внешнего магнитного поля для управления движения ФГ в ней. А в заданной области организма вызывается магнитоиндуцированное сжатие образца и высвобождение препарата [18].

Было исследовано изменение объёма образцов ФГ во внешнем поле, соответствующие результаты представлены на рис. 5. Расчёты подтвердили наличие магнитодеформационного эффекта, причем ожидаемо у материала с алмазоподобной структурой полимерной сетки он проявляется ярче. Более того, образцы с этим типом связующего демонстрируют как сжатие, так и разбухание в поле, в зависимости от энергии анизотропии частиц наполнителя. Так, объём образца с σ=∞ при намагничивании уменьшается. В случае материала с тем же наполнителем, но кубической структурой сетки, также наблюдается сжатие образцов, но менее заметное. Отметим, что аналогичное поведение было обнаружено экспериментально на образцах ФГ, наполненных наночастицами магнетита [19, 20].

При моделировании материала с магнитоизотропными частицами у образцов с кубической структурой полимерного связующего наблюдается либо практически нуле-

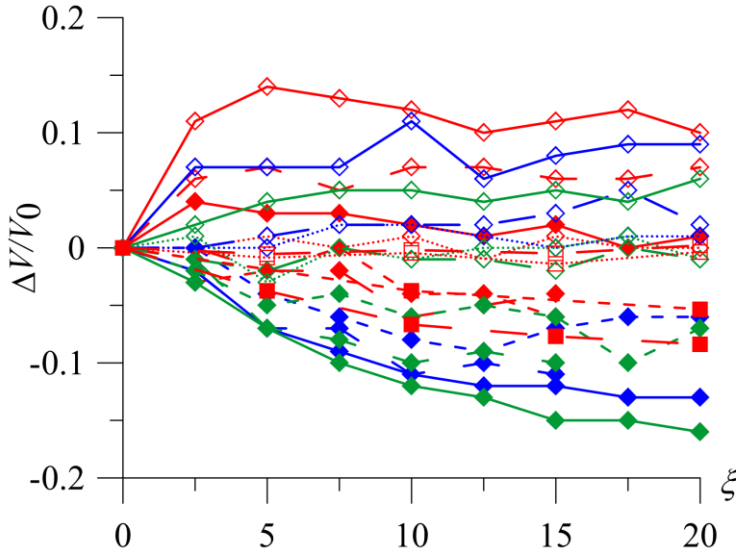


Рис. 5. Зависимость изменения объёма образца при намагничивании от величины внешнего поля, выраженной в единицах ξ, для образцов феррогеля с разными параметрами наполнителя. Цвет графиков указывает на интенсивность дипольного взаимодействия частиц: зелёный – λ=2,5, синий – λ=4,0, красный – λ=5,5. Тип символов указывает на структуру матрицы: ромбы – алазоподобную, квадраты – с квази-кубическую. Пустые символы и штриховые линии соответствуют результатам магнитоизотропных частиц (то есть σ=0), а закрашенные символы и сплошные линии – случаю σ=∞. Тип линий указывает на концентрацию частиц наполнителя: штриховые соответствуют c=0,35, длинный штрих – c=0,5, сплошные – c=0,8

вое изменение объёма, либо его слабое (по сравнению со случаем σ=∞) уменьшение. При этом образцы с алмазоподобной топологией сетки демонстрируют в поле заметное разбухание при всех рассмотренных значениях концентрации частиц и величины магнитного момента. У образцов с более интенсивными магнитными взаимодействиями объём меняется сильнее. Таким образом, можно предположить, что в случае достаточно мягкой гидрогелевой матрицы применение наполнителей, отличающихся по энергии анизотропии, позволяет получить образцы ФГ с разнообразным магнитодеформационным поведением.

Заключение

В работе проведено численное исследование магнитомеханического отклика малого образца феррогеля на внешнее постоянное магнитное поле. В модели, базирующейся на подходе групнозернистой молекулярной динамики, полимерное связующее имитируется системой идеальных полимерных цепей (состоящих из жёстких сфер с гармоническими связями между ними), объединённых в квазирегулярную структуру. Монодисперсный магнитный наполнитель состоит из сферических частиц, обладающих однодоменной структурой и одноосной анизотропией магнитных свойств. Магнитные частицы размещаются в узлах полимерной сетки, а для последней рассмотрено два варианта топологии, отличающиеся средней плотностью полимерных сшивок. Расчёты показали, что матрица с алмазоподобной структурой допускает более значительные магнитоиндуцированные перемещения частиц включения (в частности, кластерообразование) по сравнению с вариантом простой кубической сетки. В результате, образцы с алмазоподобной структурой связующего демонстрируют более яркое проявления магнитодеформационного эффекта, в частности, изменение объёма образцов в поле.

В образцах с более высокой энергией магнитной анизотропии частиц перемагничивание моментов частиц затрудняется упругой реакцией матрицы на поворот частиц. Кроме того, наличие подобных локальных напряжений приводит к эффективному упрочнению матрицы, которое затрудняет трансляционные перемещения частиц, а тем самым, осложняет и намагничивание образца, и кластерообразование в материале, и деформации образца в поле. При этом образцы, наполненные высокоанизотропными частицами, демонстрируют магнитоиндуцированное сжатие (уменьшение объёма), в то время как в случае магнитоизотропного наполнителя наблюдается противоположный эффект – образцы разбухают в поле. Данный эффект может быть полезен при проектировании и развитии реальных приложений феррогелей, таких как создание контейнеров для контролируемой доставки и высвобождения малых доз препаратов.

Библиографический список

1. *Guisasola E., Vallet-Regí M., Baeza A.* Magnetically responsive polymers for drug delivery applications // Stimuli Responsive Polymeric Nanocarriers for Drug Delivery Applications. – Vol. 1. – Cambridge: Woodhead Publishing, 2018. – P. 143–168.
2. *Zhao X., Kim J.,Cezar C.A.* [et. al.] Active scaffolds for on-demand drug and cell delivery // Proceedings of National Academy of Science of the USA. – 2011. – Vol. 108. – P. 67–72.
3. *Babincova M., Leszczynska D., Sourivong P.* [et. al.] Superparamagnetic gel as a novel material for electromagnetically induced hyperthermia // Journal of Magnetism and. Magnetic Materials. – 2001. – Vol. 225. – P. 109–112.
4. *Lin C.C., Metters A.T.* Hydrogels in controlled release formulations: network design and mathematical modeling // Advanced Drug Delivery Reviews. – 2006. – Vol. 58. – P. 1379–408.
5. Shahinpoor M., Kim K.J., Mojarrad M. Artificial Muscles: Applications of Advanced Polymeric Nanocopmosites. – New York, London: CRC Press, 2007. – 480 p.
6. *Li Y., Huang G., Zhang X.* [et. al.] Magnetic Hydrogels and Their Potential Biomedical Applications // Advanced Functional Materials. – 2013. – Vol. 3. – P. 660–672.

7. *Blyakhman, F.A., Safronov A.P., Zubarev A.Yu.* [et. al.] Polyacrylamide ferrogels with embedded maghemite nanoparticles for biomedical engineering // Results in Physics. – 2017. – Vol. 7. – P. 3624–3633.
8. *Philippova O.E.* Responsive Polymer Gels // Polymer Science. Series C. – 2000. – Vol. 42. – P. 2328–2352.
9. *Ramanujan R., Lao L.* The mechanical behavior of smart magnet-hydrogel composites // Smart Materials and Structures. – 2006. – Vol. 15. – P. 952.
10. *Ilg P.* Stimuli-responsive hydrogels cross-linked by magnetic nanoparticles // Soft Matter. – 2013. – Vol. 9. – P. 3465.
11. *Minina E.S., Sánchez P.A., Likos C.N., Kantorovich S.S.* The influence of the magnetic filler concentration on the properties of a microgel particle: Zero-field case // Journal of Magnetism and. Magnetic Materials. – 2018. – Vol. 459. – P. 226–230.
12. *Weeber R., Hermes M., Schmidt A.M., Holm C.* Polymer architecture of magnetic gels: a review // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2018. – Vol. 30. – P. 063002.
13. *Ryzhkov A.V., Melenev P.V., Balasoiu M., Raikher Yu.L.* Structure organization and magnetic properties of microscale ferrogels: The effect of particle magnetic anisotropy // Journal of Chemical. Physics. – 2016. – Vol. 145. – P. 074905.
14. *Galicia J.A., Cousin F., Dubois E.* [et. al.] Static and dynamic structural probing of swollen polyacrylamide ferrogels // Soft Matter.– 2009. – Vol. 13. – P. 2614–2624.
15. *Campbell S.B., Patenaude M., Hoare T.* Injectable superparamagnets: highly elastic and degradable poly(N-isopropylacrylamide)-superparamagnetic iron oxide nanoparticle (SPION) composite hydrogels // Biomacromolecules. – 2014. – Vol. 14. – P. 644–653.
16. *Arnold A., Lenz O., Kesselheim S.* [et. al.] ESPResSo 3.1 – Molecular Dynamics Software for Coarse-Grained Models // Meshfree Methods for Partial Differential Equations. – 2013. – Vol. 6. – P. 1–23.
17. Ivanov A.O., Kuznetsova O.B. Magnetic properties of dense ferrofluids: An influence of interparticle correlations // Physical Review E. – 2001. – Vol. 64. – P. 041405.
18. *Liu T.-Y., Hu S.-H., Liu D.-M.* [et. al.] Biomedical nanoparticle carriers with combined thermal and magnetic responses // Nano Today. – 2009. – Vol. 4. – P. 52–65.
19. *Liu T.-Y., Hu S.-H., Liu T.-Y.* [et. al.] Magnetic-Sensitive Behavior of Intelligent Ferrogels for Controlled Release of Drug // Langmuir. – 2006. – Vol. 22. – P. 5974–5978.
20. *Qin J., Asempah I., Laurent S.* [et. al.] Injectable Superparamagnetic Ferrogels for Controlled Release of Hydrophobic Drugs // Advanced Materials. – 2009. – Vol. 21. – P. 1354–1357.

MICROSCALE MODEL OF FERROGEL SAMPLES WITH DIFFERENT POLYMER MATRIX STRUCTURE

P.V. Melenev, A.V. Ryzhkov

Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS

For citation:
Melenev P.V., Ryzhkov A.V. Microscale model of ferrogel samples with different polymer matrix structure // Perm Federal Research Center Journal. – 2021. – № 3. – P. 23–33. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.4

Ferrogels is a group of soft magnetically active composite materials with polymer gel (generally hydrogel) matrix filled by ferromagnetic colloid particles. Pronounced interrelation between magnetic and mechanical properties of ferrogels together with their biocompatibility make ferrogels attractive for various bio-medical applications. Evolution of ferrogel internal structure plays pivotal role in formation of unique magnetic mechanical behavior of ferrogel. Difficulty of direct observation on the structure scales enhances importance of theoretical (and numerical) study on ferrogels.

The paper presents the results of modeling the behavior of a small ferrogel sample (up to 1000 magnetic particles) obtained using the method of coarse-grained molecular dynamics. The composite matrix is imitated by a quasi-regular mesh of ideal spring-beads chains, and single-domain magnetic particles with uniaxial anisotropy are placed in nodes of this mesh. The state of the sample is considered in the absence of external action, as well as in cycles of quasi-static magnetization for two

variants of the topology of the polymer network (simple cubic and diamond-like), for different values of the magnetic moment of particles, their concentration, and anisotropy energy.

Simulation has shown that samples with softer matrix (i.e. of diamond-like structure) demonstrate more noticeable magnetic deformation effects. The presence of magnetic anisotropy excites additional local stresses during particle moment reorientations, which complicates particles clustering and sample magnetization. Moreover, it has been found that anisotropy energy determines the character of the field induced change in the sample volume.

Keywords: soft magnetic composite, ferrogel, molecular dynamics, targeted drug delivery.

Сведения об авторах

Меленев Петр Викторович, кандидат физико-математических наук, Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ИМСС УрО РАН»), 614013, ул. Академика Королева, 1; e-mail: melenev@icmm.ru

Рыжков Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, «ИМСС УрО РАН»; e-mail: ryzhkovalexandr@gmail.com

Материал поступил в редакцию 31.03.2021г.

УДК 550.831

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГОВЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

А.А. Симанов, *Горный институт УрО РАН*
В.В. Хохлова, *Горный институт УрО РАН*

Для цитирования:
Симанов А.А., Хохлова В.В. Разработка методики мониторинговых гравиметрических исследований для изучения карстовых процессов // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2021. – № 3. – С. 34–41. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.5

При поддержке проекта регионального конкурса РФФИ в 2017–2019 гг. разработана принципиально новая методика мониторинговых гравиметрических наблюдений, включающая в себя динамическую составляющую, т.е. изменение параметров поля во времени. Предлагаемые методы являются опережающими в том смысле, что предназначены для оперативного картирования карста в плане, приблизительной оценки его физических и геометрических параметров. Работы были проведены для опробования различных вариантов методики полевых работ на конкретных геологических объектах.

Создана геологическая модель гравиметрического мониторинга карстового процесса и доказано, что с использованием разработанной методики и современной геофизической аппаратуры можно определить начало процесса разуплотнения пород, выявляя зоны последующих возможных оседаний и провалов земной поверхности. Основываясь на геологической модели гравиметрического мониторинга, разработана методика интерпретации динамических аномалий силы тяжести, на базе которой создана технология количественной интерпретации выделенных динамических аномалий гравитационного поля. Интерпретация динамических аномалий силы тяжести основана на совместном применении качественных и количественных методов извлечения геологической информации из гравиметрических данных.

Решение обратных задач предлагается осуществлять монтажным методом с использованием гарантированного подхода к оценке качества решения обратной задачи и с построением функции локализации источников поля. Модель среды, используемая при этом методе решения задачи (изолированный объект в однородной среде), полностью удовлетворяет геологической модели гравиметрического мониторинга, поскольку влияние неизменных плотностных неоднородностей в массиве, обусловленных геологическим строением, отсутствует в динамических аномалиях силы

тяжести. Результатом количественной интерпретации динамических аномалий является вероятный интервал глубин изменения массы (объема) горных пород, произошедший между двумя парами измерений поля.

Ключевые слова: *гравиразведка, мониторинг, аномалия гравитационного поля, динамическая гравитационная аномалия, геологическая модель, интерпретация, карст, обратные задачи.*

В рамках фундаментальной проблемы обеспечения безопасности рудников, шахт, жизнедеятельности населения разработана методика и программно-алгоритмический аппарат обработки и интерпретации мониторинговых гравиметрических наблюдений, которые направлены на выявление карстовых областей в массиве, а также выполнена апробация комплекса опережающих геофизических работ, с целью обнаружения участков с интенсивным развитием карстовых процессов.

Анализ зарубежных и российских публикаций показал, что гравиметрические данные используются только для изучения соляных куполов и диапиров [2, 26]. Мониторинговые гравиметрические наблюдения выполняются, как правило, для изучения вулканов, грунтовых вод и месторождений углеводородов [1, 18, 22, 27, 28].

За период работы 2017–2019 гг. авторами проекта выполнены опытно-методические геофизические работы, в состав которых входили высокоточные гравиметрические наблюдения на территории Верхнекамского месторождения калийных солей. Данные работы были проведены для опробования различных вариантов методики полевых работ на конкретных геологических объектах. На основе полученных данных выделены участки с интенсивным развитием карстово-суффозионных процессов. Получены сведения о плотностных характеристиках горных пород верхней части разреза. По результатам повторных наблюдений была рассчитана динамическая аномалия силы тяжести, определяемая как разность между последующими и предыдущими значениями силы тяжести. Поскольку все неизменные составляющие гравитационного поля в равной степени присутствуют в любой паре наблюдений, динамическая аномалия отражает только конкретный горнотехнический или быстротекущий геологический процесс.

Проблема изучения горного массива, расположенного над естественными или техногенными полостями в геологическом пространстве существует уже давно. К естественным полостям относятся пещеры, доступные для проникновения, к техногенным – горные выработки шахтного производства, а также подземные коммуникационные сети на урбанизированных территориях. От сохранности массива горных пород над этими полостями часто зависит безопасность жизнедеятельности населения, сохранность самого рудника или природного объекта. Изучение территории с поверхности посредством геофизических наблюдений даёт хорошие результаты как с точки зрения выявления ослабленных или потенциально опасных зон (при однократно проведенной съемке), так и в плане прогноза развития аномальных зон в пространстве с течением времени (в случае регулярных повторных наблюдений).

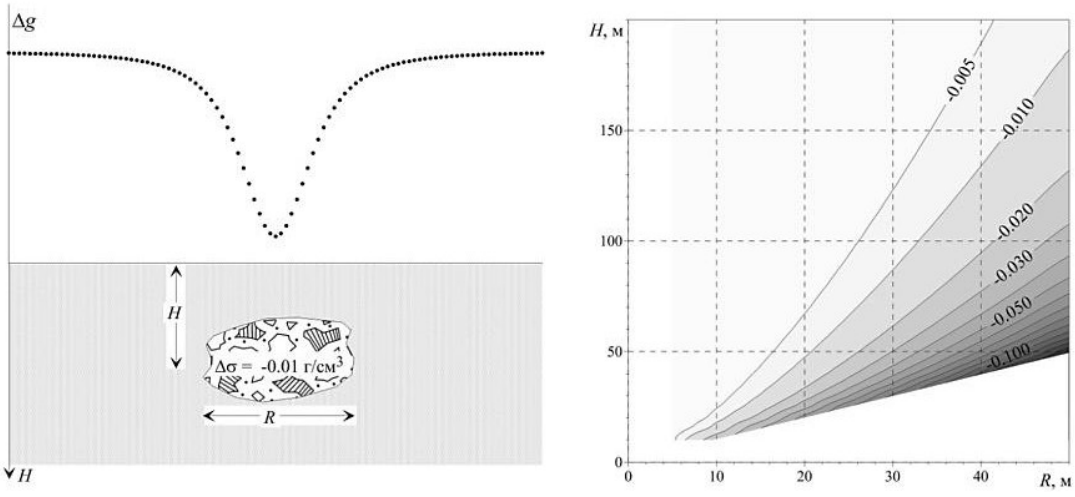
Для изучения и прогнозирования негативных инженерно-геологических явлений широко используются геофизические методы, немаловажную роль в комплексе которых играют гравиметрические исследования. Актуальностью проблемы является развитие теории интерпретации геопотенциальных полей в трехмерном пространстве, которая, прежде всего, включает анализ мониторинговых гравиметрических наблюдений, разделения по глубине источников аномалий в трехмерном пространстве, решение обратных задач с целью получения единой плотностной картины недр, определение глубинной приуроченности областей интенсивного развития карста.

Области с интенсивным развитием карстовых процессов в горном массиве отчетливо фиксируются в динамическом гравитационном поле. Созданная методика мониторинговых наблюдений, проведенных в различные периоды времени, позволяет локализовать области интенсивного развития карстовых процессов, существенно повысить разрешающую способность и достоверность выделения аномалий, при этом снизится неоднозначность решения обратных задач гравиметрии в линейной и нелинейной постановке [6–10].

В период проведения проекта создана геологическая модель гравиметрического мониторинга карстового процесса и доказано, что с использованием разработанной методики и современной геофизической аппаратуры можно определить начало процесса разуплотнения пород, выявляя зоны последующих возможных оседаний и провалов земной поверхности.

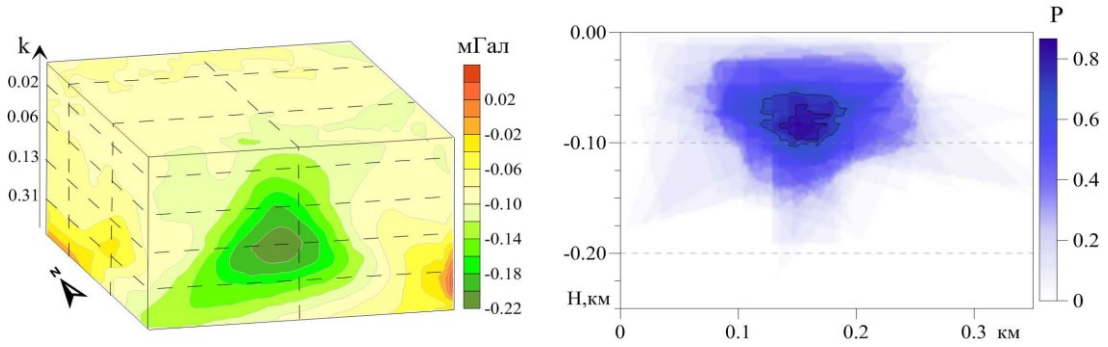
Геологическая модель гравиметрического мониторинга карстового процесса представляет собой изолированную область, где произошли изменения плотности пород, в однородной геологической среде (рис. 1) [6–10]. Экстремальные величины гравитационных эффектов в зависимости от глубины зоны разуплотнения (H) и ее размеров (R) приведены изолиниями на рис. 1, *б*, оцифрованными в миллигалах. Следует отметить, что данные эффекты вычислены при изменении плотности геологического объекта на 0,01 г/см^3, которая очень мала и находится в пределах точности денситометрии. Учитывая, что современная гравиметрическая и геодезическая аппаратура позволяет зафиксировать аномалии силы тяжести с точностью ±0,005 – 0,007 мГал, по гравиметрическим данным можно определить начало процесса разуплотнения пород, выявляя зоны последующих возможных оседаний и провалов земной поверхности.

Интерпретация динамических аномалий силы тяжести осуществляется на основе совместного применения качественных и количественных методов извлечения геологической информации из гравиметрических данных. На начальной стадии интерпретационного процесса используется система VECTOR [18], с помощью которой строится изображение геологической среды – пространственное распределение квазиплотности, отражающее некоторые элементы физико-геологической модели (рис. 2, *а*). Параметр квазиплотности не имеет размерности физического параметра плотности, а шкала глубин построенных разрезов и 3D-диаграмм не отвечает истинной. Однако результаты векторного сканирования успешно используются для уточнения геологических гипотез и задания априорных ограничений при последующем решении обратной задачи.



а *б*

Рис. 1. а – геологическая модель гравиметрического мониторинга; б – гравитационные эффекты модели



а *б*

Рис. 2. а – выделение локальной динамической аномалии силы тяжести в системе VECTOR; б – результат решения нелинейной обратной задачи

Решение обратных задач предлагается осуществлять монтажным методом с использованием гарантированного подхода к оценке качества решения обратной задачи и с построением функции локализации источников поля. Модель среды, используемая при этом методе решения задачи (изолированный объект в однородной среде), полностью удовлетворяет геологической модели гравиметрического мониторинга, поскольку влияние неизменных плотностных неоднородностей в массиве, обусловленных геологическим строением, отсутствует в динамических аномалиях силы тяжести [16, 17]. Результатом количественной интерпретации динамических аномалий является вероятный интервал глубин изменения массы (объема) горных пород, произошедший между двумя парами измерений поля (рис. 2, *б*). На одном из потенциально опасных участков на территории г. Березники в 2016 г. были начаты работы, где выполнено семь циклов мониторинговых гравиметрических работ. Здесь создан гравиметрический полигон, состоящий из 102 пунктов, работы на котором выполняются на закрепленных металлических знаках (дюбелях, забитых в асфальт) гравиметрами AUTOGRAV CG-5.

На первом этапе проводили гравиметрические и геодезические наблюдения между гравиметрическим пунктом 1-го разряда и опорным гравиметрическим пунктом 3-го класса, который расположен вне зоны влияния инженерно-геологических, горнотехнических и геодинамических процессов.

На втором этапе проводили гравиметрические и геодезические измерения на пунктах временной опорной сети. Определение силы тяжести на всех опорных пунктах рассчитывалось по результатам 2–3 независимых рейсов двумя гравиметрами. Создание временной опорной сети позволило сократить длительность гравиметрических рейсов и тем самым повысить точность наблюдений на пунктах мониторинговых наблюдений.

Третий этап заключался в гравиметрических и геодезических наблюдениях на рядовых пунктах мониторинговых наблюдений. На каждом гравиметрическом пункте выполнялось по три цикла наблюдений продолжительностью от 30 до 60 секунд каждый. Измерения на пунктах рядовой сети производились по однократной методике со 100% повторением двумя гравиметрами. Среднеквадратическая погрешность определения силы тяжести составляла при этом 0,005–0,007 мГал, точность определения высот на закрепленных пунктах 1–2 см.

Полевая обработка получаемых результатов измерений включала ежедневный анализ показаний гравиметров в каждом отдельном рейсе; анализ характера сползания нуль-пункта; отбраковку значений по результатам анализа показаний обработки и принятие решения о необходимости повторения измерений на пункте; оценку величин поправок значений силы тяжести на данном пункте по данным геодезических наблюдений (сохранность планового и высотно-

го положения точки наблюдения); сопоставление показаний гравиметра при повторных и контрольных измерениях.

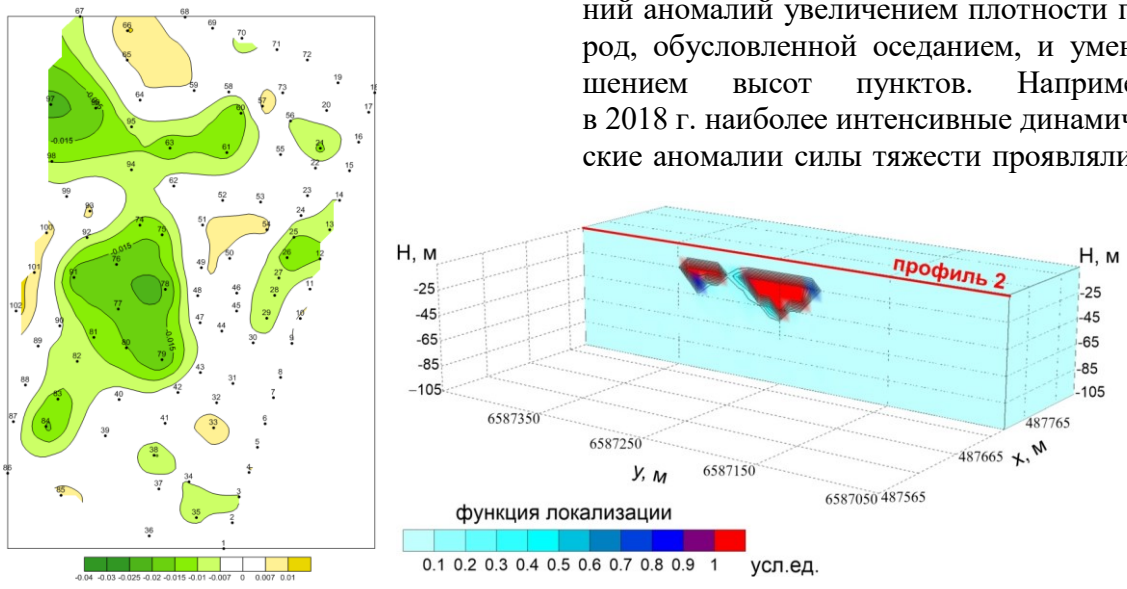
По результатам мониторинговых наблюдений в 2016–2017 гг. выявлена отрицательная динамическая аномалия, которая может быть связана с процессами разуплотнения пород и возможными местами оседаний земной поверхности (рис. 3). По результатам количественной интерпретации выделенной аномалии размер зоны разуплотнения может достигать более 200 м в плане и мощности 20–40 м, плотность пород уменьшилась на 0,10 г/см^3.

Дальнейшие гравиметрические наблюдения показали, что амплитуда и размеры динамической аномалии существенным образом меняются в различных циклах мониторинга, при этом происходят неравномерные оседания земной поверхности (рис. 4). Участки повышенных оседаний земной поверхности сопровождаются уменьшением величины динамической аномалии, что объясняется компенсацией значений аномалий уменьшением высот пунктов и увеличением плотности пород.

На рис. 4 приведены карты изменения силы тяжести за разные годы измерений на фоне городской застройки. Анализируя карты динамических аномалий в разные периоды времени, прежде всего, можно отметить, что амплитуда, размеры и местоположение динамических аномалий существенным образом меняются в различных циклах мониторинга.

Можно констатировать увеличение скорости изменения силы тяжести: если в первый период (2016–2017 гг.) амплитуда отрицательной аномалий составляла -0,04 мГал (рис. 4 *а*), то за последний год (2018–2019 гг.) амплитуда увеличилась до -0,10 мГал (рис. 4 *в*). Количественная интерпретация динамических аномалий показала, что источник изменения поля находится на глубине порядка 20–40 м, плотность его изменилась на -0,1 г/см^3. Увеличение амплитуды динамической аномалии свидетельствует об ускорении процесса разуплотнения пород надсолянной толщи, расположенной над затопленными шахтными полями, что в дальнейшем может привести к провалам земной поверхности на данной территории.

Изменение формы динамических аномалий в пространстве, по нашему мнению, связано с процессом непрерывного оседания земной поверхности. Участки повышенных оседаний сопровождаются уменьшением величины динамической аномалии, что объясняется компенсацией значений аномалий увеличением плотности пород, обусловленной оседанием, и уменьшением высот пунктов. Например, в 2018 г. наиболее интенсивные динамические аномалии силы тяжести проявлялись



а *б*

Рис. 3. Результаты гравиметрического мониторинга:
а – карта динамических аномалий (сентябрь – декабрь 2016 г.);
б – вертикальное сечение функции локализации источников аномалий



а *б* *в* *г*

Рис. 4. Карты динамических аномалий: а – сентябрь 2016 г.–сентябрь 2017 г., б – сентябрь 2017 г. – ноябрь 2018 г., в – ноябрь 2018 г. – сентябрь 2019 г., г – оседания земной поверхности в период с ноября 2018 г. по сентябрь 2019 г. (черными точками показаны пункты гравиметрических наблюдений)

на юге участка (рис. 4, *в*), в 2018–2019 гг. здесь произошли повышенные оседания земной поверхности до 30 см (рис. 4, *г*), что подтвердило сделанный нами ранее прогноз оседаний. Одновременно с оседанием в этой части участка произошло «затухание» динамической аномалии (рис. 4, *в*). За период 2018–2019 гг. наиболее интенсивные динамические аномалии сместились на юг и запад участка (рис. 4, *в*). Вероятно, здесь в дальнейшем следует ожидать повышенные оседания земной поверхности.

Заключение

Эксперименты показали, что с помощью указанного комплекса успешно решается задача картирования карстовых полостей и разрывных нарушений, а также появляется возможность определить временные трансформации модели и оценить степень опасности состояния водозащитной толщи для эксплуатации месторождений. Изменения плотности пород в горном массиве, происходящие под влиянием горно-геологических условий, отчетливо фиксируются в гравитационном поле.

Разработанная технология проведения и интерпретации мониторинговых гравиметрических наблюдений позволяет перейти на новый качественный уровень получения информации о распределении и развитии во времени плотностных неоднородностей геологического разреза, что существенно повышает безопасность проведения горных работ. Гравиметрия должна применяться как опережающий метод, позволяющий на предварительном этапе уточнить геолого-тектоническую обстановку в пределах шахтных полей, выделить зоны повышенного риска.

В более широком рассмотрении результаты работ являются примером широкой апробации методики опережающего исследования, направленной на прогнозирование разрушительных последствий карстово-суффозионных процессов.

Библиографический список

1. *Андреев О.П., Кобылкин Д.Н., Ахмедсафин С.К., Кирсанов С.А., Безматерных Е.Ф., Кривицкий Г.Е.* Гравиметрический контроль разработки газовых и газоконденсатных месторождений. Состояние, проблемы, перспективы. – М.: ООО Издательский дом Недра. – 2012. – 374 с.
2. *Багрій С.М., Кузьменко Е.Д., Анікеєв С.Г.* Оцінка ступеня просідання земної поверхні на шахтних полях Калуського гірничо-промислового району за даними високоточної гравіметрії // Научные труды SWorld. – 2016. – №1 (42). – С. 40–48.
3. *Бычков С.Г.* Гравиметрический мониторинг: возможности, задачи, перспективы // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сб. науч. тр., вып. 15. – Пермь, ГИ УрО РАН, – 2017. – С. 146–149.
4. *Бычков С.Г., Долгаль А.С., Костицын В.И., Симанов А.А., Хохлова В.В.* Редуцирование высокоточных гравиметрических наблюдений // Геодезия, картография, кадастр, ГИС –

проблемы и перспективы развития: тез. докл. Международной науч.-техн. кон / Полоцкий гос. ун-т. – Новополоцк: ПГУ, 2016. – С. 26–30.

5. *Бычков С.Г., Долгаль А.С., Симанов А.А., Хохлова В.В.* Опыт использования современных процедур обработки высокоточных гравиметрических съемок // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. (17–21 апреля 2017 г.). Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». – Т. 3. – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. – С. 99–104.
6. *Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А.* Гравиметрический мониторинг аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Материалы 44-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г.Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей» – М.: ИФЗ РАН, 2017. – С. 75–79.
7. *Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А.* Гравиметрический мониторинг аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сборник статей по материалам Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Пермь, ПГНИУ, 2017. – С. 132–137.
8. *Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А.* Гравиметрический мониторинг карстовых процессов // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: Девятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. – Екатеринбург, ИГф УрО РАН. – 2017. – С. 93–97.
9. *Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А.* Гравиметрический мониторинг рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геофизика. – 2017. – № 5. – С. 10–16.
10. *Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А.* Результаты гравиметрического мониторинга аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 45-й сессии Междунар. семинара им. Д.Г.Успенского. – Казань: Казанский ун-т. 2018. – С. 130–131.
11. *Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Симанов А.А., Щербинина Г.П.* Гравиметрические исследования аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. ст. юбилейной конф., посвящ. 100-летию Пермского ун-та и 85-летию геол.ф-та. ПГНИУ. – Пермь, 2016. – С. 124–127.
12. *Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П.* Наземно-подземная гравиразведка на Верхнекамском месторождении калийных солей // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Пермь, 2016. – С. 76–80.
13. *Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П.* Прикладные задачи гравиметрии при обеспечении безопасности отработки месторождения растворимых солей // Геофизика. – 2018. – № 5. – С. 4–12.
14. *Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Щербинина Г.П.* Применение наземно-подземной гравиразведки на Верхнекамском месторождении калийных солей // Геофизика. – 2016. – № 5. – С. 37–41.
15. *Бычков С.Г., Симанов А.А.* Возможная природа повышенной дисперсии отсчетов гравиметра // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Вып. 1(38). – Пермь: ПГНИУ, 2018. – С. 163–167.
16. *Мичурин А.В.* Комплексная интерпретация геофизических данных при поисках медно-порфирового оруденения // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Вып. 16. – Пермь: ГИ УрО РАН, – 2018. – С. 150–152.
17. *Мичурин А.В.* Решение линейной обратной задачи гравиразведки по площадным измерениям методом минимизации эмпирического риска // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сб. научн. Трудов. Вып. 14. – Пермь: ГИ УрО РАН, – 2016. – С. 147–149.
18. *Простолупов Г.В., Новоселицкий В.М., Конешов В.Н., Щербинина Г.П.* Об интерпретации гравитационного и магнитного полей на основе трансформации горизонтальных градиентов в системе «VECTOR» // Физика Земли. – 2006. – № 6. – С. 90–96.
19. *Симанов А.А.* Гравиметрический мониторинг карстово-суффозионных процессов в районах интенсивного освоения недр // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Вып. 16. – Пермь: ГИ УрО РАН, – 2018. – С. 161–163.
20. *Симанов А.А.* Опытные геофизические работы на территории историко-природного комплекса «Ледяная гора и Кунгурская ледяная пещера» // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сб. научн. трудов. Вып. 14. – Пермь: ГИ УрО РАН, – 2016. – С. 160–162.
21. *Хохлова В.В.* Вычисление гравитационных эффектов в сферической системе координат // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сб. научн. трудов. Вып. 14. – Пермь: ГИ УрО РАН, – 2016. – С. 166–168.

22. *Branston M.W., Styles P.* The Use of Time-Lapse Microgravity to Investigate and Monitor an Area Undergoing Surface Subsidence; A Case Study // Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems – 2002. P. CAV10-CAV10.
23. *Bychkov S.* The tomographic transform of the gravity field and their geological interpretation // 8th Saint Petersburg International Conference & Exhibition «Saint Petersburg 2018. Innovations in Geosciences – Time for Breakthrough» – Saint Petersburg, Russia (9-12 April 2018). Submission ID: 44418. 6 p.
24. *Bychkov S., Michurin A., Simanov A.* Interpretation of results gravity monitoring of karst processes // 8th Saint Petersburg International Conference & Exhibition «Saint Petersburg 2018. Innovations in Geosciences – Time for Breakthrough» – Saint Petersburg, Russia (9-12 April 2018). Submission ID: 44417. 6 p.
25. *Bychkov S.G., Michurin A.V., Simanov A.A.* Gravimetric monitoring of technogenic impact on geological environment // Engineering and Mining Geophysics. 2018 (23-27 April 2018), – Almaty, Kazakhstan. Submission ID: 46144. 6 p.
26. *Davis K., Li Y., Batzle M.* Time-lapse gravity monitoring: A systematic 4D approach with application to aquifer storage and recovery // Geophysics. – 2008. – Vol. 73. – № 6. – P. WA61–WA69.
27. *Gasperikova E., Hoversten G.M.* Gravity monitoring of CO2 movement during sequestration: Model studies // Geophysics. – 2008. – Vol. 73. – № 6. – P. WA105–WA112.
28. *Kennedy J., Ferre T.P., Guntner A., Abe M., Creutzfeldt B.* Direct measurement of subsurface mass change using the variable baseline gravity gradient method // Geophysical Research Letters. – 2014. – Vol. 41. – P. 2827–2834.

DEVELOPMENT OF MONITORING GRAVIMETRIC SURVEY METHOD FOR STUDYING KARST PROCESSES

A.A. Simanov, V.V. Khokhlova

Mining Institute UB RAS

For citation:
Simanov A.A., Khokhlova V.V. Development of monitoring gravimetric survey method for studying karst processes // Perm Federal Research Center Journal. – 2021. – № 3. – P. 34–41. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.5

Within the framework of solving the fundamental issue of ensuring the safety of mining camps, mines, and vital functioning of the population, a methodology and a software algorithmic apparatus have been developed for processing and interpreting monitoring gravimetric observations which are aimed at identifying karst areas in the massif. A complex of prospective geophysical works aimed at detecting areas with intensive development of karst processes has been tested. The authors of the project carried out experimental methodological geophysical works including high-precision gravimetric observations on the territory of the Verkhnekamskoye potash deposit. These works were carried out to test various options for the field work methodology on specific geological objects. In a broader sence, the results of the work are an example of a wide approbation of an advanced research methodology aimed at predicting the destructive consequences of karst-suffusion processes.

Keywords: gravity, monitoring, anomaly of the gravity field, dynamic gravity anomaly, geological model, interpretation, karst.

Сведения об авторах

Симанов Алексей Аркадьевич, кандидат технических наук, научный сотрудник, Горный институт УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («ГИ УрО РАН»), 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; e-mail: simanov@mi-perm.ru

Хохлова Валерия Васильевна, младший научный сотрудник, «ГИ УрО РАН»; e-mail: valxov@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 01.04.2021 г.

УДК 542.64:539.2

ЭЛАСТОМЕРЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИУРЕТАНОВЫХ ОЛИГОМЕРОВ, ОТВЕРЖДАЕМЫЕ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ *

А.И. Слободинюк, *Институт технической химии УрО РАН*
В.Ю. Сеничев, *Институт технической химии УрО РАН*
А.В. Савчук, *Институт технической химии УрО РАН*
М.А. Макарова, *Институт технической химии УрО РАН*
Э.В. Погорельцев, *Институт технической химии УрО РАН*
М.В. Перепада, *Институт технической химии УрО РАН*
С.Ф. Красносельских, *Институт технической химии УрО РАН*
Д.Г. Слободинюк, *Институт технической химии УрО РАН*

Для цитирования:
Слободинюк А.И., Сеничев В.Ю., Савчук А.В., Макарова М.А., Погорельцев Э.В., Перепада М.В., Красносельских С.Ф., Слободинюк Д.Г. Эластомеры на основе эпоксиуретановых олигомеров, отверждаемые при комнатной температуре // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2021. – № 3. – С. 42–50. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.6

На основе олиготетраметиленоксиддиола разной молекулярной массы, различных диизоцианатов, а также глицидола и аминоэтилпиперазина синтезированы новые эпоксиуретановые олигомеры (олиготетрауретандиэпоксиды). На их основе получены морозостойкие эластичные композиции холодного отверждения. Показано, что варьированием мольного соотношения между эпоксиуретановыми олигомерами и отвердителями класса аминов можно получать эластомеры, деформационно-прочностные свойства которых могут регулироваться в самых широких пределах. Методом ИК-спектроскопии доказано, что при использовании различных диизоцианатов образуется разная надмолекулярная структура. Высокая степень микрофазового разделения гибких и жестких блоков у эластомеров, синтезированных на основе изофорондиизоцианата, способствует реализации у них более высоких прочностных характеристик. Методами дифференциально-сканирующей калориметрии и механического анализа доказана возможность применения разработанных эластомеров в условиях Арктики и Крайнего Севера.

Ключевые слова: *эпоксиуретановый олигомер, диизоцианат, жесткие блоки, прочность, деформация, морозостойкость, глицидол.*

* Работа выполнена в рамках проекта Пермского научно-образовательного центра «Рациональное недропользование», с использованием оборудования ЦКП «Исследование материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН.

Введение

Сегментированные полиуретановые эластомеры – уникальный класс полимеров, структура и свойства которых регулируются в широких пределах в результате использования для их синтеза различных полиолов, диизоцианатов и удлинителей цепи. В зависимости от химического строения и количества компонентов могут быть получены полимерные материалы с различным сочетанием свойств. Многие полиуретаны обладают такими свойствами, как высокая прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, износостойкость, широкий температурный диапазон эксплуатации: от минус 50°С до 100°С [1–6].

Сегментированные полиуретаны (СПУ), синтезированные на основе олигодиизоцианатов и так называемых удлинителей цепи, в качестве которых используются низкомолекулярные диамины или диолы, состоят из чередующихся гибких и жестких сегментов (блоков) различного химического состава и полярности. Химическое строение мягких сегментов СПУ задано строением олигомеров, используемых для их синтеза; жесткие сегменты образуются при реакции диизоцианата с удлинителем цепи [7–81].

Различие в полярности гибких и жестких сегментов приводит к их микрофазовому разделению с образованием доменов жестких сегментов. В СПУ жесткие домены являются усиливающими наполнителями и узлами специфической физической сетки, устойчивой в широком интервале температур [9–11], причем важную роль в стабилизации структуры жесткой фазы играют водородные связи в микродоменах.

Получающаяся в процессе отверждения полиуретанов двухфазная структура является залогом формирования их высоких прочностных свойств. Кроме того, позитивную роль в применении полиуретановых материалов играет относительная простота технологии их переработки, часто реализуемая с помощью метода свободного литья. Однако достоинства такой технологии имеют обратную сторону: некоторые компоненты, используемые для синтеза полиуретанов, имеют высокую токсичность, их система отверждения чувствительна к влажности воздуха, а применение некоторых компонентов затруднительно при решении часто возникающих инженерных задач, связанных с необходимостью отверждения при температурах, близких к комнатной температуре.

Известно, что с целью понижения токсичности олигодиизоцианатов (ОД), а также негативного влияния влаги на конечные свойства уретансодержащих эластомеров можно производить эпоксидирование ОД путем их взаимодействия с глицидолом. В ходе реакции эпоксидирования образуются эпоксиуретановые олигомеры (ЭУО). В отличие от ОД композиции на основе ЭУО малочувствительны к действию влаги, что важно для получения крупных монолитных изделий при применении заливочных композиций. Эластичные материалы, получаемые на основе ЭУО, имеют хорошие диэлектрические свойства и механические характеристики, применяются в качестве адгезивов, основы низкомодульных компаундов различного назначения, биомедицинских материалов [12–16]. В качестве отвердителей эпоксиуретановых олигомеров используют амины, ангидриды дикарбоновых кислот, соединения с карбоксильными группами.

Стоит отметить, что ангидриды, а также карбоновые кислоты могут применяться в качестве отвердителей только при высоких температурах, тогда как при комнатной температуре получение изделий на основе эпоксиуретановых олигомеров возможно только с использованием аминной системы отверждения.

Основной целью работы представлялась разработка системы отверждения эпоксиуретановых олигомеров на основе простых олигоэфиров, позволяющая реализовать максимальные прочностные свойства конечных эластичных материалов в случае так называемого «холодного» отверждения.

Экспериментальная часть

Эпоксиуретановые олигомеры были синтезированы на основе глицидола и олигодиизоцианатов, для синтеза которых применяли олигоэфирдиолы и диизоцианаты. Использовали следующие олигоэфирдиолы: олиготетраметиленоксиддиол (ОТМО) фирмы «Bayer» (средняя молекулярная масса M_n: 1000 г·моль$^{-1}$, 1400 г·моль$^{-1}$, 2 000 г·моль$^{-1}$), изофорондиизоцианат (ИФДИ) фирмы «Sigma Aldrich», 2,4-толуилендиизоцианат (ТДИ) фирмы «Sigma Aldrich», глицидол от ОАО «НИИПМ». Воду в олигоэфирдиолах удаляли при температуре 80°С в условиях перемешивания в течение 7 часов под вакуумом при остаточном давлении не более 10 мм рт.ст.

На первой стадии синтеза были получены олигодиизоцианаты (ОД) реакцией олигодиолов с диизоцианатом при мольном соотношении NCO/OH = 2,05 при поддержании температуры реакционной смеси 60–70°С в условиях перемешивания. Содержание NCO-групп в олигодиизоцианатах было определено титрованием н-бутиламином согласно ASTM D 2572-97 (табл. 1). На второй стадии синтеза ОД взаимодействовали с двойным количеством (в мольном отношении) глицидола с образованием эпоксиуретановых олигомеров (ЭУО). Контроль массового содержания эпоксидных групп полученного олигомера проводили согласно ГОСТ Р 56752-2015. Таким образом было получено 6 эпоксиуретановых олигомеров.

Образцы эластомеров с уретангидроксильными жесткими блоками были получены отверждением смеси соответствующего ЭУО и отвердителя – аминоэтилпиперазина. Составы приведены в табл. 2. ЭУО предварительно перемешивали в течение 10 мин при температуре 40°С и вакуумировании. Затем в реактор вводили отвердитель. Указанную смесь ЭУО и отвердителя перемешивали в течение 3 минут при температуре 40°С и вакууме, заливали в металлические формы для образцов толщиной 2 мм и термостатировали в течение 24 часов при температуре 25±2°С. Полноту инверсии эпоксидных групп контролировали методом ИК-Фурье спектроскопии по исчезновению полосы поглощения при 910 см$^{-1}$.

При отверждении эластомеров образуются образцы с разным типом уретангидроксильных жестких блоков (рис. 1). На рисунке жесткие блоки, образующиеся на основе 2,4-толуилендиизоцианата, обозначены ЖБ-1, на основе изофорондиизоцианата – ЖБ-2:

Температуру стеклования T_g^s определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на калориметре DSC 822e фирмы «METTLER TOLEDO» при скорости сканирования 0,08 град·с$^{-1}$ (при этом масса образца составляла от 10 до 20 мг). ИК-спектры отвержденных образцов регистрировали на ИК-Фурье спектрометре IFS-66/S фирмы «Bruker» при разрешении 1 см$^{-1}$ при помощи приставки НПВО. Для удобства сравнения спектральные кривые нормировали по полосе при 2 840 см$^{-1}$ характеристической для валентных колебаний CH_2 – групп для образцов со вторым типом жестких блоков. И по полосе при 1 600 см$^{-1}$, характеристической для ва-

Таблица 1

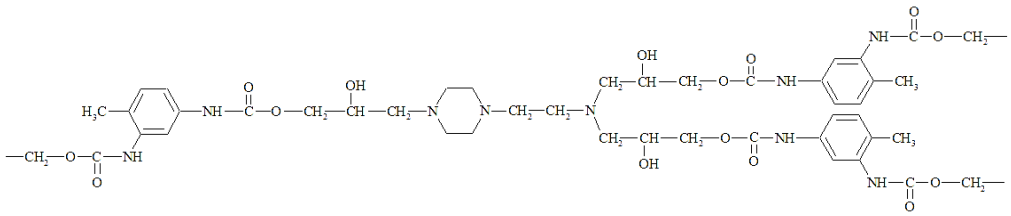
Характеристики эпоксиуретановых олигомеров на основе ОТМО различной молекулярной массы

Олигомер	Молекулярная масса олигодиола	Диизоцианат	Содержание изоцианатных групп		Содержание эпоксидных групп	
			теор.	практ.	теор.	практ.
УП-1	1 000	ТДИ	6,17	6,25	6,40	6,21
УП-2	1 400	ТДИ	4,77	4,86	4,58	4,36
УП-3	2 000	ТДИ	3,55	3,51	3,38	3,24
УП-4	1 000	ИФДИ	5,76	5,89	5,45	5,56
УП-5	1 400	ИФДИ	4,51	4,76	4,49	4,61
УП-6	2 000	ИФДИ	3,40	3,45	3,33	3,26

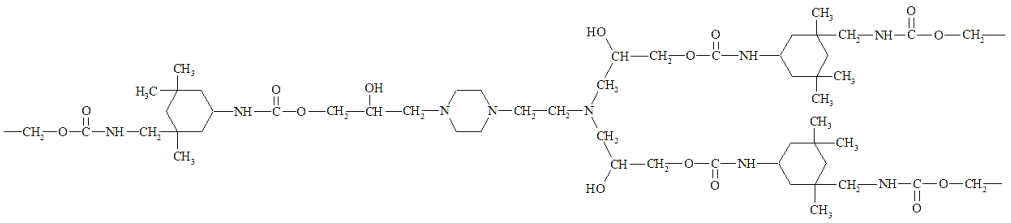
Таблица 2

Характеристики эластомеров, синтезированных на основе эпоксиуретановых олигомеров

Номер образца	ЭУО, используемый при синтезе	Мольное соотношение ЭУО : амин	Условная прочность, Па		Относительная критическая деформация, %	
			25°С	-70 °С	25 °С	-70 °С
1	УП-1	1 : 1	7,6	71,3	547	3
2	УП-1	1 : 0,87	5,7	68,6	385	2
3	УП-1	1 : 0,67	4,4	64,1	360	1
4	УП-2	1 : 1	5,1	48,9	466	8
5	УП-2	1 : 0,87	8,9	48,5	491	7
6	УП-2	1 : 0,67	5,0	46,3	450	7
7	УП-3	1 : 1	5,9	72,9	525	7
8	УП-3	1 : 0,87	7,9	71,7	577	8
9	УП-3	1 : 0,67	5,4	70,5	450	8
10	УП-4	1 : 1	11,3	50,3	523	2
11	УП-4	1 : 0,87	16,1	51,5	416	2
12	УП-4	1 : 0,67	14,2	25,6	212	1
13	УП-5	1 : 1	12,1	59,6	700	12
14	УП-5	1 : 0,87	15,1	54,5	475	11
15	УП-5	1 : 0,67	5,3	52,3	215	10
16	УП-6	1 : 1	4,3	39,6	358	268
17	УП-6	1 : 0,87	8,1	40,6	408	264
18	УП-6	1 : 0,67	4,4	41,2	275	58



ЖБ-1



ЖБ-2

Рис. 1. Структуры образующихся жестких блоков

лентных колебаний С–С арильного кольца для образцов с первым типом жестких блоков. Механические испытания образцов полученных эластомеров проводили на универсальной испытательной машине INSTRON 3 365 при температуре 25±1°С согласно ISO 37–2013.

Результаты и обсуждение

На рис. 2–3 представлены ДСК-термограммы образцов эластомеров на основе олиготетраметиленоксиддиола с разной молекулярной массой, синтезированные с использованием 2,4-толуилендиизоцианата (рис. 2) и изофорондиизоцианата (рис. 3). Из рис. 2–3 видно, что повышение молекулярной массы олигоэфира способствует понижению температуры стеклования эластомера. Так, при переходе молекулярной массы олигоэфира от 1000 к 1400 и, далее, к 2000, температура стеклования закономерно понижается от -61°С к -71°С и -78°С (при использовании 2,-4-толуилендиизоцианата) и от -64°С к -73°С и -79°С при использовании изофорондиизоцианата. Небольшая разница температур стеклования у образцов при одинаковой длине гибкого сегмента с разными диизо-

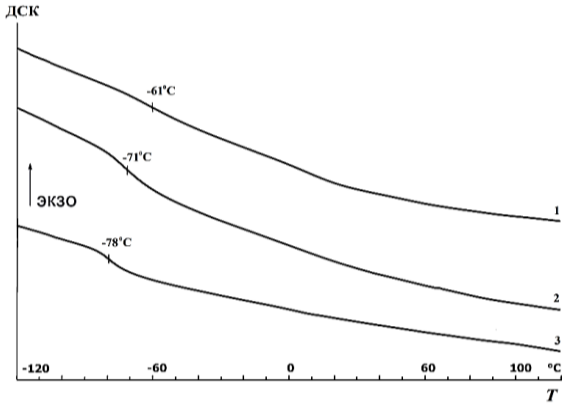


Рис. 2. ДСК–термограммы образцов:
***1** – образец 2, **2** – образец 5, **3** – образец 8*

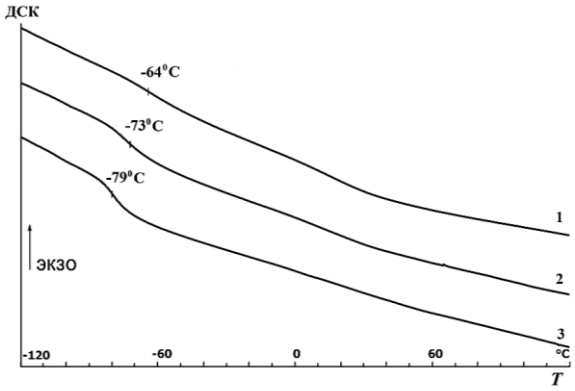


Рис. 3. ДСК–термограммы образцов:
***1** – образец 11, **2** – образец 14, **3** – образец 17*

цианатами объясняется стерическим фактором, вносимым в сегментальную подвижность полимерных цепей фрагментом изофорондиизоцианата. Стоит отметить, что в отличие от уретансодержащих эластомеров с обычными уретановыми или уретанмочевинными жесткими блоками, у синтезированных эластомеров отсутствует кристаллизация гибкого сегмента; это должно положительным образом сказываться на работоспособности изделий при отрицательных температурах.

Так как в работе были использованы реагенты разной функциональности (у эпоксиуретанового олигомера *f*=2, у амина *f*=3), имелась возможность регулирования свойств отвержденных эластомеров изменением мольного соотношения реагентов. Так, соотношение 1:1 (рис. 4) позволяет создавать эластомер с более высокими деформативными свойствами, а при стехиометрическом соотношении (рис. 5) образуется сшитый эластомер с повышенным уровнем поперечных свя-

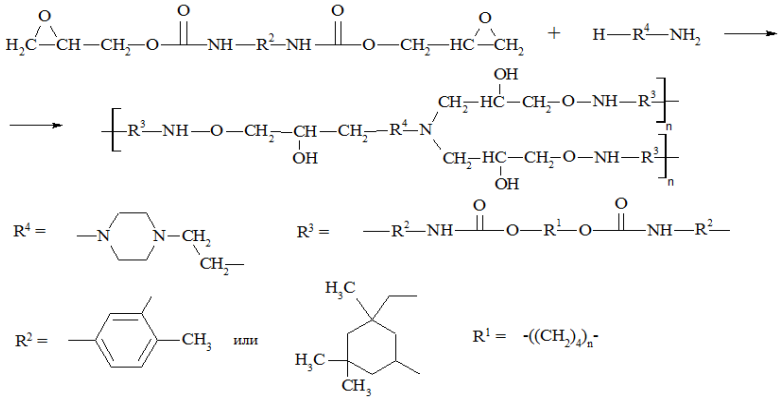


Рис. 4. Схема полимеризации эластомеров при мольном соотношении реагентов 1:1

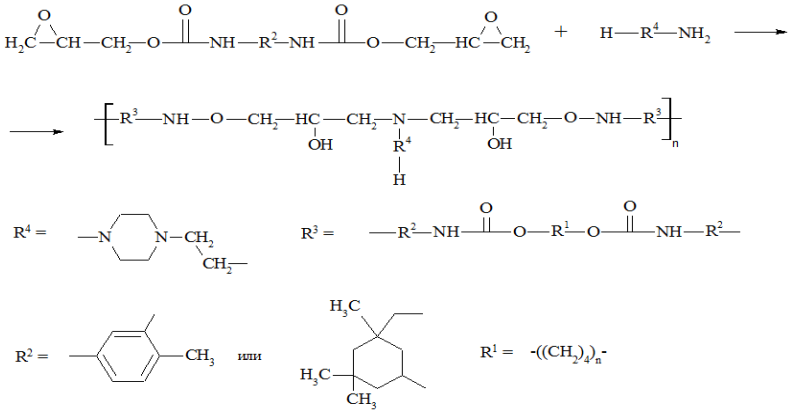


Рис. 5. Схема полимеризации эластомеров при мольном соотношении реагентов 1:0,67

зей, что может обеспечить более высокий уровень химической стойкости. При этом возможны промежуточные варианты.

В табл. 2 представлены данные по деформационно-прочностным характеристикам синтезированных эластомеров на основе ЭУО. Из данных, представленных в табл. 2, видно, что варьированием соотношения ЭУО: отвердитель можно регулировать деформационно-прочностные характеристики эластомеров в весьма широких пределах. Причем почти для всех ЭУО оптимальным является соотношение ЭУО: отвердитель = 1:0,87.

На рис. 6, 7 представлены ИК – спектры образцов эластомеров синтезированных при мольном соотношении эпоксиуретановый олигомер: отвердитель 1: 0,87, образцы были получены на основе олиготетраметиленоксиддиола разной молекулярной массы и разных типов жестких блоков.

Для отнесения соответствующих полос поглощения при этом использовали результаты спектральных исследований некоторых близких по строению полимеров с уретановыми группами [17–18]. Важную информацию о надмолекулярной структуре уретансодержащих полимеров можно получить при анализе области

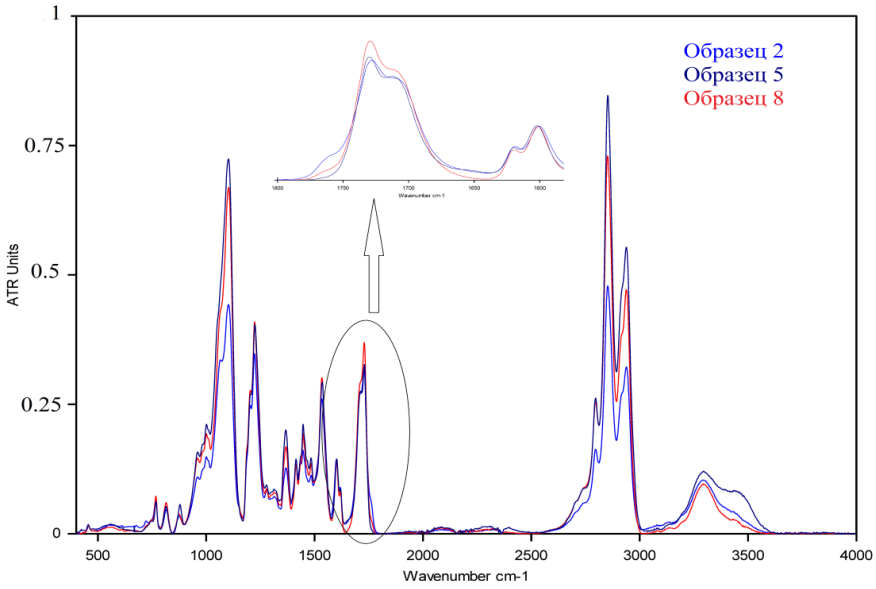


Рис. 6. ИК-спектр образцов 2, 5, 8

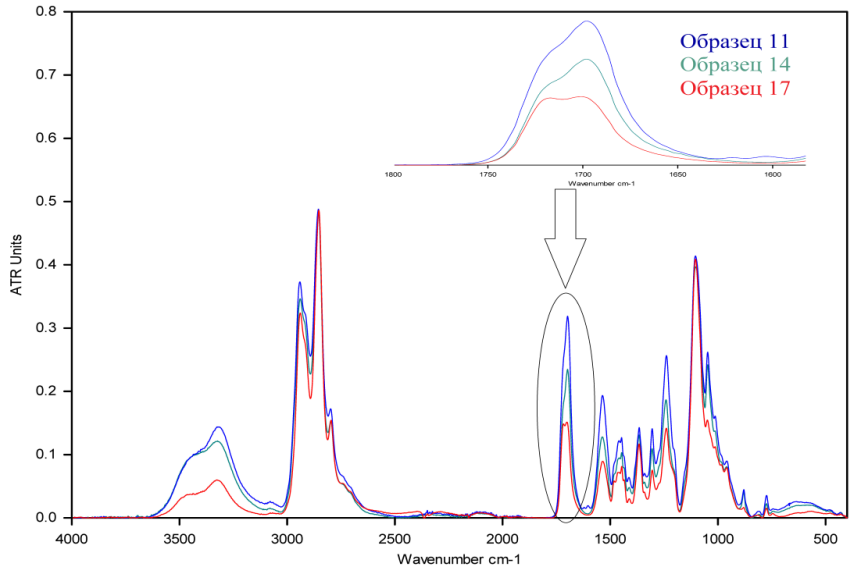


Рис. 7. ИК- спектр образцов 11, 14, 17

ИК-спектров, относимой к полосам поглощения карбонильной группы (область 1 600–1 760 $см^{-1}$). Положение полос поглощения этой группы в уретансодержащих эластомерах (полиуретанмочевинах, полиуретанах) может несколько варьироваться для композиций с различными диизоцианатами, диаминами, низкомолекулярными диолами. Например, полоса поглощения самоассоциатов уретанмочевинных жестких блоков на основе 2,4-толуилендиизоцианата проявляется при 1 640 $см^{-1}$, а на основе изофорондиизоцианата — при 1 660 $см^{-1}$ [19], для 2,4-толуилендиизоцианата. глицидола и аминоэтилпиперазина – при 1 712 $см^{-1}$ [20], для изофорондиизоцианата, глицидола и аминоэтилпиперазина – при 1 698 $см^{-1}$ [21].

Как видно из спектров, в области 1 600–1 760 $см^{-1}$ для образцов с первым типом жестких блоков проявляются две полосы поглощения: при 1 702 $см^{-1}$, которая относится к поглощению карбонила, связанного водородной связью с N-H группой уретангидроксильного жесткого блока (ЖБ) – связь ЖБ–ЖБ, а также пик при 1 730 $см^{-1}$, относящийся к поглощению свободного карбонила уретановой группы. При этом интенсивность пика при 1 730 $см^{-1}$ возрастает с увеличением молекулярной массы гибкого сегмента. Стоит отметить, что более низкую интенсивность пика при 1 712 $см^{-1}$ в сравнении с полосой 1 730 $см^{-1}$, что указывает на низкую степень микрофазового разделения. Анализ эластомеров со вторым типом жестких блоков показывает, что здесь реализуется более высокая степень микрофазового разделения гибких и жестких блоков – интенсивность полосы поглощения при 1 698 $см^{-1}$ превалирует над полосой 1 730 $см^{-1}$. При этом самая высокая степень микрофазового разделения реализуется на образце с молекулярной массой гибкого сегмента 1 000.

Из табл. 2 видно, что для эластомеров со вторым типом жестких блоков реализуются более высокие прочностные характеристики вследствие более высокой степени микрофазового разделения. Так, при молекулярной массе гибкого сегмента 1 000 прочность образца со вторым типом жестких блоков больше, чем с первым типом в 2,11 раза при молекулярной массе 1 400 в 1,81 раза, при молекулярной массе 2 000 – в 1,03. При этом все эластомеры, синтезированные на основе ОТМО с молекулярной массой 1400 и 2000, обладают достаточными деформационно-прочностными характеристиками при экстремально низкой температуре: минус 70°С, что обеспечивает возможность работоспособности данных материалов в условиях Арктики и Крайнего Севера.

Библиографический список

1. *Randall D., Lee S.* The polyurethanes book. – New York: Wiley, 2003.
2. *Hepburn C.* Polyurethane elastomers. – London; New-York: Elsevier Applied Science; 1992.
3. *Petrovic Z.S.*, *Ferguson J.* Polyurethane elastomers // Prog. Polym. Sci. – 1991. – Vol. 16. – № 5. – P. 695–836. DOI: 10.1016/0079-6700(91)90011-9.
4. *Lamba N.M.K., Woodhouse K.A., Cooper S.L.* Polyurethanes in biomedical applications. – Boca Raton: CRC Press, 1998.
5. *Bagdi K., Molnar K., Wacha A., Bota A., Pukánszky B.* Hierarchical structure of phase-separated segmented polyurethane elastomers and its effect on properties // Polym Int. – 2011. – Vol. 60. – № 4. – P. 529–36. DOI: 10.1002/pi.3003.
6. *Unal S., Yilgor I., Yilgor E., Sheth J.P., Wilkes G.L., Long T.E.* A new generation of highly branched polymers: hyperbranched, segmented poly(urethane urea) elastomers // Macromolecules. – 2004. – Vol. 37. – № 19. – P. 7081–84. DOI: 10.1021/ma049472e.
7. *Tereshatov V.V.* [et al.] The role of the soft phase in the hardening effect and the rate dependence of the ultimate physico-mechanical properties of urethane-containing segmented elastomers //Colloid and Polymer Science. – 2015. – Vol. 293. – №. 1. – P. 153–164.
8. *Tereshatov V.V.* [et al.] Interrelationship between ultimate mechanical properties of variously structured polyurethanes and poly(urethane urea)s and stretching rate thereof //Colloid and Polymer Science. – 2012. – Vol. 290. – №. 7. – P. 641–651.

9. *Buist J.M.* Developments in Polyurethane-1. – London: Applied Science Publishers, 1978.
10. *Yamamoto T., Shibayama M., Nomura S.* Structure and properties of fatigued segmented poly(urethaneurea)s 3. Quantitative-analyses of hydrogen-bond // Polymer J. – 1989. – Vol. 21. – № 11. – P. 895–903. DOI: 10.1295/polymj.21.895.
11. *Lee H.S., Yoo S.R., Seo S.W.* Domain and segmental deformation behavior of thermoplastic elastomers using synchrotron SAXS and FTIR methods // J. Polym. Sci. Polym. Phys. – 1999. – Vol. 37. – № 22. – P. 3233–45.
12. *Chen D.S., Ma C.C.M., Hsia H.C., Wang W.N., Lin S.R.* Preparation and characterization of cryogenic adhesives. I. Glycidyl-terminated polyurethane resins // J. Appl. Polym. Sci. – 1994. – Vol. 51. – № 7. – P. 1199−1206.
13. *Hsia H.C., Ma C.C.M., Li M.S., Li Y.S., Chen D.S.* Glycidyl-terminated polyurethane modified epoxy resins: Mechanical properties, adhesion properties, and morphology // J. Appl. Polym. Sci. – 1994. – Vol. 52. – № 8. – P. 1137−1151.
14. *Yeganeh H., Mehdipour-Ataei S., Ghaffari M.* Preparation and properties of novel poly (urethane-imide) s via blending of reactive polyimide and epoxy-terminated urethane prepolymers // High Perform. Polym. – 2008. – Vol. 20. – № 2. – P. 126–145.
15. *Mustafin V.R., Shukurdzhiev M.S., Magrupov F.A.* Modification of epoxy oligomers with furan compounds. A survey //International Polymer Science and Technology. – 1995. – T. 22. – №. 7. – C. 90–95.
16. *Pavlova M., Draganova M., Kabaivanov V.* Studies of the effect of a hardener on some properties of epoxyurethane adhesives with increase heat resistance // Polym. Commun. – 1988. – Vol. 29. – № 3. – P. 80–82.
17. *Mathew A., Kurmvanshi S., Mohanty S., Nayak S.K.* Influence of diisocyanate, glycidol and polyol molar ratios on the mechanical and thermal properties on the mechanical and thermal properties of glycidyl-terminated biobased polyurethanes // Polymer International. – 2017. – Vol. 66. – Iss. 11. – P. 1546–1554.
18. *Huang S.L., Lai J.Y.* On the gas permeability of hydroxyl terminated polybutadiene based polyurethane membranes // J. Membrane Sci. – 1995. – Vol. 105. – №. 1–2. – P. 137–145.
19. *Ahn T.0., Jung S.U., Jeong H.M., Lee S.W.* The properties of polyurethanes with mixed chain extenders and mixed soft segments // Appl. Polym. Sci. – 1994. – Vol. 51. – № l. – P. 43–49. https://doi.org/10.1002/app.1994.070510105.
20. *Senichev V.Y, Slobodinyuk A.I., Makarova M.A., Savchuk A.V, Pogoreltsev E.V.* The effect of hard segments structure on the functional properties of polyurethane elastomers based on oligoesterurethane epoxides // J. Phys. Conf. Ser. – 2019. – Vol. 1399. – № 4. – P. 044060.
21. *Hsia H.C., Ma C.C.M., Chen D.S.* Adhesion properties and phase separation behavior of glycidyl-terminated polyurethanes // Macromol. Mater. Eng. – 1994. – Vol. 220. – №. 1. – P. 133–149.

ELASTOMERS BASED ON EPOXYURETHANE OLIGOMERS CURED AT ROOM TEMPERATURE

A.I. Slobodinyuk, V.Yu. Senichev, A.V. Savchuk, M.A. Makarova, E.V. Pogoreltsev, M.V. Perepada, S.F. Krasnosel'skikh, D.G. Slobodinyuk

Institute of Technical Chemistry UB RAS

For citation:
Slobodinyuk A.I., Senichev V.Yu., Savchuk A.V., Makarova M.A., Pogoreltsev E.V., Perepada M.V., Krasnosel'skikh S.F., Slobodinyuk D.G. Elastomers based on epoxyurethane oligomers, cured at room temperature // Perm Federal Research Center Journal. – 2021. – № 3. – P. 42–50. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.6

New epoxyurethane oligomers (oligotetraurethane diepoxides) were synthesized on the basis of oligotetramethylene oxide diols of different molecular weight, various diisocyanates, as well as glycidol, and aminoethylpiperazine. On their basis, frost-resistant elastic cold-curing compositions were obtained. It was shown that varying the molar ratio between epoxyurethane oligomers and amine hardeners makes it possible to obtain elastomers with the deformation and strength properties that could be controlled over a wide range.

It was proved by IR-spectroscopy that a various supramolecular structure was formed when different diisocyanates were used. High degree of microphase separation between soft and hard

blocks in elastomers synthesized on the basis of isophorone diisocyanate contributes to their higher strength properties. Methods of differential scanning calorimetry and mechanical analysis proved the possibility of the developed elastomers application in the Arctic and the Far North.

Keywords: epoxyurethane oligomer, diisocyanate, hard blocks, strength, deformation, frost resistance, glycidol.

Сведения об авторах

Слободинюк Алексей Игоревич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт технический химии УрО РАН («ИТХ УрО РАН»), 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3; e-mail: slobodinyk.aleksey.ktn@mail.ru

Сеничев Валерий Юльевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией полимерных материалов, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: senichev85@yandex.ru

Савчук Анна Викторовна, аспирант, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: ataraksa@mail.ru

Макарова Марина Александровна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: makmara65@mail.ru

Погорельцев Эдуард Владимирович, аспирант, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: e.v.pogoreltsev@yandex.ru

Перепада Мария Владимировна, аспирант, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: mari.perepada@mail.ru

Красносельских Светлана Федоровна, инженер, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: krasnlanal@yandex.ru

Слободинюк Дарья Геннадиевна, кандидат технических наук, научный сотрудник, «ИТХ УрО РАН»; e-mail: slobodinyuk.aleksey.ktn@mail.ru

Материал поступил в редакцию 08.06.2021 г.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА



УДК 32.019.52

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КРИЗИС В МАССОВЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ РОССИЯН

А.В. Семенов, *Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН*

Для цитирования:
Семенов А.В. Экономический кризис в массовых представлениях россиян // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2021. – № 3. – С. 52–61. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.7

За постсоветскую историю россияне пережили несколько экономических кризисов, которые во многом стали призмой для оценки политической обстановки в стране и направления ее развития. В данной статье на основе массовых опросов ФОМ и ВЦИОМ в 2019–2020 гг. автором реконструируются общественные представления об экономическом кризисе, рассматриваются, какие группы более склонны видеть кризис в стране, какие адаптивные механизмы они используют, наконец, связано ли ощущение кризиса с доверием политическим институтам. Количественный текстовый анализ ответов на открытый вопрос о характеристиках экономического кризиса показывает, что в первую очередь он ассоциируется с разрывом между наличным и желаемым уровнями потребления и экономической безопасностью, а не резким снижением макроэкономических показателей. Рост цен, низкий уровень жизни и заработных плат являются наиболее частыми индикаторами кризиса в ответах.

Наиболее чувствительными к кризису оказываются респонденты в категории граждан с низкими доходам и более молодые когорты. Механизмы адаптации уже начинали формироваться накануне основной волны пандемии в марте 2020 г., но возросший уровень неопределённости в отношении будущего определил спрос на информацию о состоянии дел в экономике. Исследование показывает также, что ощущение кризиса связано с недоверием органам государственной власти. В целом, работа демонстрирует важность изучения субъективных оценок благополучия и их роли в структурировании информации о процессах в политических и экономических сферах.

Ключевые слова: *экономический кризис, экономическое неблагополучие, общественное мнение, общественные настроения, общественное доверие.*

Постсоветский период в России был сопряжен как с тяжелыми экономическими потрясениями, так и со стремительным экономическим подъемом. «Шоковая терапия» 1992 г. привела к галлопирующей инфляции и резкому сокращению экономики, которое продолжалось вплоть до дефолта августа 1998 г. Последовавшие за ним почти 10 лет устойчивого экономического роста закончились вместе с глобальным экономическим кризисом, когда в 2009 г. российская экономика потеряла 8% ВВП. После кратковременного восстановления, с 2013 г., экономика демонстри-

ровала признаки стагнации: на фоне почти полной занятости и загрузки производственных мощностей инвестиционная активность сокращалась, увеличился чистый отток капитала. Продолжительный спад реальных доходов наложился на российско-украинский конфликт и санкционное противостояние, а переход на плавающую ставку рубля вместе с неудачными корпоративными операциями на валютном рынке обрушили курс рубля в декабре 2014 г. Наконец, пандемия короновируса в 2020 г. стала очередным ударом по российской экономике, последствия которого еще только предстоит оценить.

Как россияне переживают экономические потрясения? Какие аспекты экономического кризиса являются для них наиболее значимыми? Наконец, имеет ли экономический кризис политические последствия? Несмотря на актуальность этих вопросов, существует явный недостаток исследований в данной области. К примеру, экономисты редко затрагивают социально-политические последствия кризисов [1; 4; 9; 10]. Работы в области социальной антропологии и социологии указывают на адаптивный потенциал россиян в условиях кризиса [8; 11]. О. Шевченко описывает опыт переживания кризиса в постсоциалистической Москве и демонстрирует, каким образом этот опыт стал частью повседневности и позволил выработать защитные механизмы [12].

В целом, существующие исследования указывают на то, что кризис воспринимается россиянами как неотъемлемая часть жизни. В данной статье на материалах опросов ВЦИОМ и Фонда «Общественное мнение» продемонстрировано, что кризис для россиян в первую очередь ассоциируется с существенным разрывом между текущим и желаемым уровнями потребления, причиной которого выступает рост цен, безработица и общий низкий уровень жизни. Показано также, какие группы оказываются наиболее чувствительными к кризисным явлениям. На основе Кризисного мониторинга ВЦИОМ [3] проанализирован диапазон адаптивных стратегий и показано, что убежденность в наличии кризиса связана с переоценкой доверия к политическим институтам.

Экономический кризис в оценках россиян

Частые взлеты и падения экономики находят свое отражение и в общественном мнении: если на пике роста в июне 2008 г., согласно опросам ВЦИОМ, 41% респондентов считали, что кризис позади, 21% утверждали, что он наблюдается уже сейчас, 25% ожидали его в будущем против 41% тех, кто считал, что кризис позади, то в июне 2020 г. эти цифры составили 17%, 58% и 15% соответственно. В апреле 2020 г. доля пессимистов достигла пика в 87% против 6%, достигнув показателей 1991–1992 гг. По факту, общественный оптимизм относительно перспектив экономического развития падает с кризиса 2008 г. с кратковременным всплеском во втором квартале 2014 г. [2].

Негативные оценки экономического положения отражают структурные проблемы: с 2014 г. наблюдается сокращение реальных доходов населения вплоть до конца 2019 г., и после короткого восстановления их рост был остановлен пандемией короновируса. Зависимость экономики от экспорта энергоносителей даже в условиях свободного обменного курса рубля, введенного Центральным банком в ноябре 2014 г., вызывает существенные колебания национальной валюты относительны мировых. Периодические обвалы курса наподобие паники осени-зимы 2014 г. напоминают россиянам об ужасах предыдущих экономических неурядиц и вызывают реакции в виде срочного перевода сбережений в валюту и скупки импортируемых товары. В то же время переход на плавающий курс рубля позволили Центробанку более эффективно обеспечивать ценовую стабильность: инфляция стабилизировалась на исторических минимумах после краткого всплеска в 2015 г.

Как россияне определяют, что такое «экономический кризис»? Для ответа на этот вопрос использованы данные опроса

Фонда «Общественное мнение», который был проведен 16–17 марта 2019 года по репрезентативной выборке в 104 населенных пунктах (N=1539). Данный массив содержит открытый вопрос «В чем для вас лично проявляется экономический кризис?», на который дали ответ 989 респондентов из 1 044 согласившихся с мнением о том, что в стране наблюдается экономический кризис. Ответы по содержательности варьируются от «не знаю» и «во всем» до довольно подробного объяснения своей позиции. Например, один из респондентов перечисляет целый ряд характеристик кризиса, которые часто повторяются в других ответах: «Нехватка работы, закрывают рынки, магазины, мелкий бизнес, социальной помощи многодетным нет, низкий уровень пенсий, зарплат, рост цен, коррупция». Социально-экономические проявления кризиса упоминаются наиболее часто, но затрагиваются также и политические проблемы: коррупция, некачественное государственное управление, затратные внешнеполитические инициативы.

Для систематического анализа ответов на открытый вопрос использованы инструменты для количественного текстового анализа с помощью пакета Quanteda в статистической среде R [7]. Перед анализом текстовые ответы прошли ручную проверку на наличие ошибок ввода: качество транскрибирования ответов сильно варьируется, кроме того, необходимо было стандартизировать отдельные выражения, например, словосочетание «заработная плата» имело несколько альтернативных вариантов написания («зарплата», «з.п.», «зар.плата» и др.). Наконец, в финальном корпусе были удалены стоп-слова. Лемматизация была пропущена для сохранения «естественной» синтаксической структуры ответов. В полученном корпусе наиболее частым является термин «цена» и его словоформы (встречается в 33% ответов), как правило, в сочетании с концертом роста («рост цен», «цены растут»). Термин «заработная плата» в различных модификациях встречается в 8% случаев (в основном в сочетании с квалификацией «низкая») «безработица» и «низкий уровень жизни» – примерно в 5% ответов.

Анализ общей частотности распределений не позволяет понять, каким образом термины сочетаются между собой. Для решения данной задачи была создана матрица сочетаемости лексических единиц (co-occurence matrix), которая дает возможность охарактеризовать контекст каждой лексемы и представить результаты в виде сети сочетаний. Рис. представляет собой

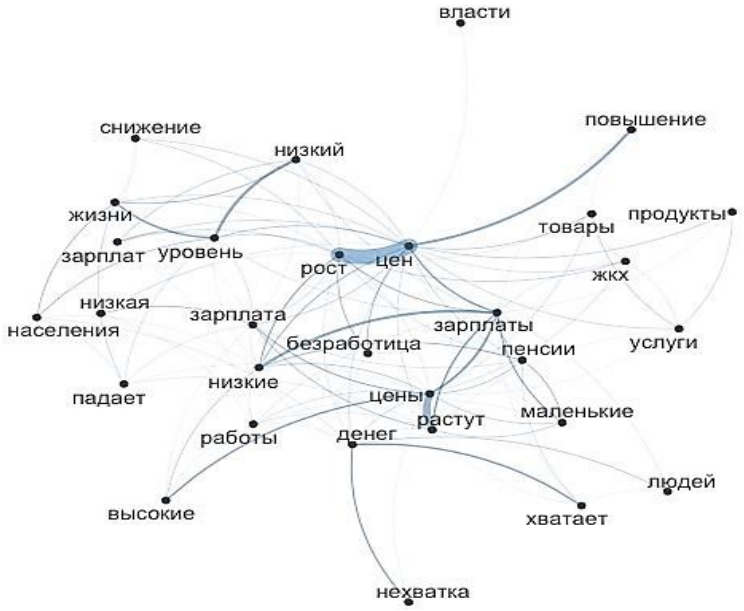


Рис. Сетевой анализ текстового корпуса ответов на вопрос о ключевых признаках экономического кризиса (N=989). Данные: мониторинг ФОМ

визуализацию такой сети с «окном» в 3 термина до и после основной лексемы, а также с пороговым значением частотности в 0,5. Каждый узел в сети является термином, а толщина линии указывает на частоту встречаемости двух терминов в указанном выше контексте (+/- 3 термина).

Как видно из рисунка, наиболее частыми словосочетаниями являются пары «рост цен» и «цены растут». Низкие заработная плата и пенсия, низкий уровень жизни в целом и нехватка денежных средств, безработица, повышение цен на услуги ЖКХ, продукты и товары образуют сопутствующие кластеры. В целом, такая концептуализация вполне соответсвует представлению о кризисе как о резком сужении экономических возможностей. Агрегация открытых ответов до уровня основных категорий согласно методике ФОМ показывает, что 28% опрошенных связывают кризис с инфляцией, ростом цен и тарифов, 27% – со снижением уровня жизни и доходов, 8% – с безработицей и сокращениями на работа, 6% – со спадом в экономике в целом и 5% – с повышением пенсионного возраста [5]. Агрегированные ответы несколько изменились в сентябре 2019 г. (снижение уровня жизни вышло на первое место, ассоциация кризиса с инфляцией сократилась до 24%), однако в целом ассоциативный ряд остался прежним [6].

Суммируя представления россиян об экономическом кризисе, стоит отметить, что для абсолютного большинства давших ответ на этот вопрос, кризис представляет собой не резкие изменения в макроэкономических показателях, а, скорее, повседневный фон экономической активности россиян. Латентной характеристикой кризиса, тем не менее, является разрыв между желаемым и актуальным уровнями потребления и экономической безопасности: доходы значительно отстают от роста цен, а источники доходов (в первую очередь – работа по найму) находятся под постоянной угрозой уничтожения.

Какие группы являются наиболее пессимистично настроенными в отношении кризиса? Респондентам было предложено ответить на вопросы «По вашему мнению, сейчас в России есть экономический кризис или кризиса нет?» и «Как вы думаете, через год экономический кризис в России будет сильнее, чем сейчас, слабее, примерно таким же или совсем закончится?». Последний вопрос задавался только тем, кто положительно ответил на первый. Общий фон массовых настроений довольно мрачен: 68% опрошенных в марте 2019 г. признавали наличие экономического кризиса в стране, 20% считало, что кризиса нет, оставшиеся 12% затруднились с ответом. Из тех, кто считает, что в стране есть экономический кризис, 29% предполагают, что он будет еще сильнее, 10% – что он будет ослабевать, 39% – что он останется примерно таким же, только 3% считают, что кризис закончится, и 19% затруднились с ответом. Таким образом, примерно каждый пятый респондент пессимистично смотрел на экономическую ситуацию в стране.

Опрос ФОМ содержит основные социодемографические характеристики (пол, возраст, образование, доход), а также частоту пользования интернетом и тип местожительства. Поскольку экономическое неблагополучие в большей степени сказывается на низкодоходных группах и жителях малых городов (высокодоходные группы и жители больших городов имеют больше возможностей для преодоления последствий кризиса, например, более обширные социальные связи и больший доступ к рынку труда), эти группы будут более расположены к положительному ответу на вопрос о наличии кризиса. В свою очередь, образование может быть как положительно связано с восприятием кризиса (посредством расширения когнитивных ресурсов и большего доступа к альтернативным источникам), так и отрицательно, поскольку может коррелировать с доходом. Для эксплораторного анализа ковариатов вероятности положительного ответа на вопрос об экономическом кризисе применена логистическая

регрессия с зависимой переменной в виде положительного / отрицательного ответа на вопрос о наличии кризиса в стране. Результаты представлены в табл. 1.

Результаты моделирования частично подтверждают ожидания: высокодоходные группы по сравнению с низкодоходными действительно в меньшей степени согласны с тем, что в стране сейчас экономический кризис. В свою очередь, образование, местоположение и частота пользования интернетом не связаны с ответами на вопрос о кризисе. По сравнению с возрастной группой 65 и старше, остальные когорты (особенно самая молодая) при прочих равных в большей степени предрасположены видеть кризис в стране. Наконец, жители Северо-кавказских регионов по сравнению с базовой категорией (жители Центрального ФО) чаще отвечают отрицательно, а жители Уральского федерального округа – положительно на вопрос о наличии кризиса.

Стратегии адаптации и политические последствия экономического кризиса

Если предыдущий опрос был проведен в 2019 г. до пандемии и ее экономических последствий, то кризисный мониторинг ВЦИОМ, первая волна которого прошла в марте 2020 г. (N = 1604), позволяет взглянуть пристальнее на то, что происходит с массовым сознанием в период масштабной угрозы экономическому благосостоянию граждан [3]. Для начала стоит отметить, что в марте 2020 г. преобладали позитивные оценки положения дел в стране и в индивидуальном положении по сравнении с миром в целом. Личное положение оценивалось лучше всего (68% отвечало, что оно хорошее), тревожнее были оценки положения дел в стране и пункте проживания (табл. 2)

Большинство (57%) считало, что их материальное положение не изменилось за последний месяц, у 33% оно ухудшилось и лишь 7% смогли его улучшить, что может свидетельствовать о продолжении

Таблица 1.

Результаты логистической регрессии, зависимая переменная – положительный ответ на вопрос о наличии экономического кризиса в стране

Характеристики	Коэффициент	Ст. ошибка
Пол: женский	0,06**	(0,02)
Возраст 18-24 (>65 – базовая)	0,16***	(0,05)
Возраст 25-35 (>65 – базовая)	0,11**	(0,05)
Возраст 36-50 (>65 – базовая)	0,12***	(0,04)
Возраст 50-65 (>65 – базовая)	0,10**	(0,04)
Средний доход (низкий – базовая)	0,02	(0,03)
Высокий доход (низкий – базовая)	-0,13**	(0,06)
Средний размер населенного пункта (малый – базовая)	0,04	(0,03)
Большой размер населенного пункта (малый – базовая)	0,02	(0,03)
Среднее специальное / неоконченное высшее (среднее – базовая)	-0,01	(0,03)
Высшее (среднее – базовая)	0,01	(0,03)
Частое пользование интернетом (не пользовались – базовая)	0,004	(0,03)
Северо-Западный ФО	0,01	(0,04)
Южный ФО	-0,05	(0,04)
Северо-Кавказский ФО	-0,14***	(0,05)
Приволжский ФО	0,02	(0,03)
Уральский ФО	0,09*	(0,05)
Сибирский ФО	-0,05	(0,04)
Дальневосточный ФО	-0,09	(0,06)
Свободный член	0,54***	(0,04)
Количество наблюдений	1,535	
Log Likelihood	-985,82	
Akaike Inf. Crit.	2,011,65	
Обозначения	*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01	

Таблица 2.

Оценка положения населения

Параметры	Очень хорошая	Хорошая	Скорее хорошая	Скорее плохая	Плохая	Очень плохая
В стране	1,00%	12,00%	33,00%	24,00%	11,00%	14,00%
В населенном пункте	2,00%	16,00%	30,00%	23,00%	12,00%	11,00%
В вашей жизни	4,00%	26,00%	38,00%	16,00%	7,00%	4,00%
В мире	1,00%	7,00%	17,00%	37,00%	18,00%	11,00%

Примечание: распределение ответов на вопрос «Как Вы в целом оцениваете ситуацию, сложившуюся в…», доля от числа ответивших. Затруднившихся ответить, менее 1% по каждому из вопросов. Данные: кризисный мониторинг ВЦИОМ, март 2020

тенденции к сокращению реальных доходов населения в последние годы. Это подтверждается и тем, что 52% ответил, что смотрит в будущее с тревогой и беспокойством (против 24% оптимистов и 20% нейтральных). Более того, 46% согласились с тем, что за последнюю неделю состояние российской экономики скорее или значительно ухудшилось. Из их числа наиболее частыми причинами ухудшения положения дел называли падение цены на нефть, эпидемию и действия руководства страны (18%, 19% и 20% ответивших соответственно). Таким образом, накануне основного удара пандемии по экономке страны настроения уже были достаточно тревожными.

В качестве первой реакции на кризисные явления, 11% респондентов стали покупать реже или отказались от некоторых продуктов питания, 8% – регулярно следить за информацией о валюте, по 7% – покупать более дешевые товары и брать товары впрок (первое, впрочем, было в привычке у 57% опрошенных, последнее – лишь у 27%). Прямыми последствиями кризиса большинство респондентов считают рост социальной несправедливости и неравенства (56%), отказ в предоставлении бесплатной медицинской помощи (41%), обострение конфликтов с другими странами и рост инфекционных заболеваний (по 35%). 40% ожидают роста цен на товары, 32% – беспорядков внутри страны, вызванных выступлениями против власти. В этой ситуации большинство респондентов рассчитывает на помощь родственников и друзей (74% и 58% соответственно рассчитывают на нее в той или иной степени). 43% могут положиться на коллег по работе, 35% – на работодателя. Лишь 12% считают, что стоит ожидать помощи от государства, а четверть опрошенных в принципе не стала бы обращаться за помощью к власти.

По поводу реакции на кризис респонденты разделились на тех, кто считает, что пока предпринимать ничего не нужно (54%), и тех, кто готов срочно что-то делать (39%). Большинство (60%) готовы экономить на всем, где это возможно; 72% внимательно следят за новостями об экономике и примерно столько же согласны с суждением, что надо более серьезно относиться к материальному благополучию своей семьи. В то же время лишь 26% готовы обсуждать кризис с друзьями и коллегами по работе, предпочитая «решать все индивидуально или в семье». В целом уход в частное пространство представляется более вероятной реакцией на кризис, чем публичная активность с требованиями по преодолению последствий экономического кризиса.

Тем не менее, политические последствия кризиса все-таки наблюдаются. В табл. 3 представлены результаты логистической регрессии с зависимой переменной в виде бинарного индикатора доверия/недоверия органам власти: президенту, премьер-министру, правительству, губернаторам, мэру и Государственной Думе. Основной независимой переменной выступает разделение на «оптимистов» (базовая кате-

Таблица 3.

Результаты логистической регрессии

Параметры	Президент	Премьер	Правительство	Губернатор	Мэр	Дума
Наличие кризиса	-1,92***	-1,55***	-1,67***	-1,00***	-1,05***	-1,28***
	(0,25)	(0,22)	(0,20)	(0,17)	(0,16)	(0,16)
Образование: среднее	-0,68	-0,37	-1,13**	0,002	-0,51	-1,00**
	(0,49)	(0,43)	(0,50)	(0,38)	(0,38)	(0,40)
Образование: высшее	-0,99**	-0,50	-1,64***	-0,11	-0,64*	-1,33***
	(0,49)	(0,44)	(0,50)	(0,38)	(0,38)	(0,40)
Доход: средний	1,22***	1,23***	1,30***	0,98***	0,75***	1,10***
	(0,16)	(0,18)	(0,16)	(0,15)	(0,15)	(0,17)
Доход: высокий	1,62***	1,61***	1,86***	1,63***	1,48***	1,91***
	(0,24)	(0,26)	(0,24)	(0,23)	(0,21)	(0,23)
Место жительства: город	-0,26	0,04	-0,11	0,16	0,02	0,17
	(0,24)	(0,26)	(0,23)	(0,22)	(0,20)	(0,21)
Место жительства: город >500 тыс. чел	-0,43**	-0,01	-0,22	-0,08	0,14	-0,27
	(0,21)	(0,23)	(0,20)	(0,19)	(0,18)	(0,19)
Место жительства: город 1 млн чел.+	-0,54***	-0,48**	-0,61***	-0,27	0,04	-0,48**
	(0,21)	(0,21)	(0,19)	(0,18)	(0,18)	(0,19)
Смортят новости	1,06***	0,92***	0,88***	0,49***	0,25	0,69***
	(0,17)	(0,19)	(0,18)	(0,16)	(0,16)	(0,18)
Возраст 18-24	-1,42***	-2,41***	-1,43***	-0,51*	-0,39	-0,42
	(0,33)	(0,37)	(0,32)	(0,30)	(0,29)	(0,30)
Возраст 25-35	-1,02***	-2,09***	-1,09***	-0,45**	-0,45**	-0,52**
	(0,25)	(0,29)	(0,24)	(0,22)	(0,22)	(0,22)
Возраст 36-50	-1,27***	-2,03***	-1,34***	-0,73***	-0,89***	-0,71***
	(0,23)	(0,27)	(0,22)	(0,20)	(0,20)	(0,20)
Возраст 50-65	-0,57**	-1,15***	-0,65***	-0,52***	-0,58***	-0,19
	(0,23)	(0,27)	(0,22)	(0,20)	(0,19)	(0,19)
Пол: женский	0,59***	0,39**	0,63***	0,39***	0,33**	0,43***
	(0,14)	(0,15)	(0,14)	(0,13)	(0,13)	(0,13)
Свободный член	2,71***	2,23***	2,36***	0,69	1,00**	0,73
	(0,62)	(0,59)	(0,61)	(0,49)	(0,48)	(0,51)
Observations	1,317	1,054	1,237	1,250	1,236	1,271
Log Likelihood	-655,58	-539,30	-667,25	-751,80	-775,80	-715,87
Akaike Inf. Crit.	1,339,17	1,106,61	1,362,49	1,531,60	1,579,59	1,459,74
Note:						*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Примечание: Зависимая переменная - положительный ответ на вопрос о наличие экономического кризиса в стране.
Данные: кризисный мониторинг ВЦИОМ, март 2020.

гория, в которую включены те, кто утверждает, что кризис уже позади или его нет, N = 298) и «пессимистов» (тех, кто ожидает или уже видит кризисные явления в стране, N = 1137). В качестве контрольных переменных выступает стандартный набор предикторов политического доверия: пол, возраст, образование, место жительства, доход и потребление информации.

Отрицательные коэффициенты свидетельствуют о том, что изменение соответствующего предиктора по сравнению с базовым уровнем снижает вероятность выбора варианта «одобряю» в опросе. Для всех органов власти представление респондента о том, что страна переживает или ожидает кризис снижает доверие при контроле на другие предикторы. Результат оказывается устойчивым, если разбить категорию пессимистов на подгруппы: как те, кто переживает кризис сейчас, так и те, кто полагает, что он впереди, менее склонны доверять власти при прочих равных характеристиках. Валидность модели подтверждается ожидаемым направлением связи в контрольных переменных: наличие образование, принадлежность к более молодым когортам и проживание в крупных городах (особенно – миллионниках) снимает вероятность одобрения

всех органов власти, тогда как женщины, высокодоходные группы и потребители телевизионных новостей при прочих равных оказываются более расположенными доверять органам власти.

Таким образом, данные ВЦИОМ позволяют взглянуть на массовые представления о кризисе с другой стороны. Несмотря на то, что большинство признает наличие кризиса, экономическое положение в стране и в семье оценивается большинством положительно в марте 2020 г. Кризис вызывает у россиян тревогу и беспокойство, и почти половина ожидает ухудшения экономической ситуации. Адаптивные практики только начали распространяться в период опроса, однако внимание к кризисным явлениям возросло. Наконец, те, кто признавал наличие кризиса в стране или ожидал его в скором времени, оказались более скептично настроенными по отношению к органам власти. И хотя этот скепсис не обязательно трансформируется в протестные настроения или поведение, в долгосрочной перспективе в ходе разворачивания кризиса ситуация с доверием органам власти будет только ухудшатся.

Заключение

Даже несмотря на масштабный экономический рост 2000-х гг., россияне продолжают жить с постоянным ощущением кризиса. Переход к рыночной экономике оказался болезненным, более того, реформы 2000-х гг. не смогли решить структурные проблемы экономического развития (зависимость от экспорта энергоносителей, неэффективность разросшегося государственного сектора, низкая производительность труда, провалы в диверсификации). Макроэкономическая и налоговая стабилизация позволяет снять часть проблем, связанных с бюджетной и денежной политикой: например, введение плавающего курса национальной валюты Центральным банком позволило в долгосрочной перспективе стабилизировать инфляционные шоки. В то же время для большей части населения оптимистичной перспективу экономического развития страны назвать нельзя.

Как демонстрируют результаты анализа массового опроса ФОМ, этот пессимизм разделяется большинством населения вне зависимости от возраста, образования и географической локации. Некоторый оптимизм есть лишь у высокодоходных групп и жителей Северо-Кавказского ФО. Иными словами, кризис для большинства россиян – почти перманентное состояние. Его смысловое наполнение связано с недоступностью качественного уровня жизни - постоянным ростом цен, безработицей, разрывом между доходами и желаемым уровнем потребления. Любопытно, что на фоне кризиса большинство, согласно данным, ВЦИОМ все-таки оценивают личное благополучие как хорошее. То есть, кризис для россиян – это фоновое явление, не всегда имеющее прямые следствия для личного благосостояния. Но даже в рамках такого уровня оптимизма эпидемия короновируса поднимает тревожность и заставляет россиян задуматься о путях решения неизбежных экономических проблем. Опрос марта 2020 г. показывает, что основная реакция россиян на кризис ожидаемо заключается в уходе в частную жизнь, однако последовавшие события могли изменить эти настроения.

Прямым политическим следствием признания наличия экономического кризиса является утрата доверия ключевым органам государственной власти, в том числе – президенту. При контроле ключевых социо-демографических характеристик, согласие с тем, что в стране кризис снижает вероятность того, что респондент доверяет всем уровням публичной власти. Высокодоходные группы меньше всего пострадали от кризисных явлений и больше доверяют президенту и другим органам власти, в то время как низкодоходные группы испытывают недовольство сложившейся экономической обстановкой, и в большей степени готовы отозвать доверие. Эти результаты в том числе указывают, что контракт середины 2000-х гг. «экономическое благополучие в обмен на лояльность» если не исчерпал себя, то находится на пределе возможностей.

Библиографический список

1. *Гайдар Е.Т.* Мировой экономический кризис: последствия для российской политики // Экономическая политика. – 2009. – № 4. – С. 37–46.
2. Индекс социальных ожиданий ВЦИОМ. Всероссийский центр изучения общественного мнения [Электронный ресурс] – URL: http://wciom.ru/news/ratings/indeks_soc_ozhidanij/ (дата обращения: 27.07.2020)
3. Кризисный мониторинг ВЦИОМ. Всероссийский центр изучения общественного мнения [Электронный ресурс] – URL: https://wciom.ru/database/open_projects/krizisnyi_monitoring/ (дата обращения: 24.05.2020)
4. *May B.* Экономическая политика 2009 года: между кризисом и модернизацией //Вопросы экономики. – 2010. – № 2. – С. 4–25.
5. Экономический кризис: мониторинг ФОМ (март 2019). Фонд «общественное мнение» [Электронный ресурс] — URL: https://fom.ru/Ekonomika/14188 (дата обращения: 24.08.220)
6. Экономический кризис: мониторинг ФОМ (сентябрь 2019). Фонд «общественное мнение» [Электронный ресурс] — URL: https://fom.ru/Ekonomika/14257 (дата обращения: 12.10.2019)
7. *Benoit K., Watanabe K., Wang H., Nulty P., Obeng A., Müller S., Matsuo A.* Quanteda: An R package for the quantitative analysis of textual data // Journal of Open Source Software. – 2013. – Vol. 3. – № 30. – P. 1–4.
8. *Burawoy M., Krotov P., Lytkina T.* Involution and destitution in capitalist Russia // Ethnography. – 2000. – Vol. 1. – № 1. – P. 43–65.
9. *Dabrowski M.* Currency crises in post-Soviet economies—a never ending story? // Russian Journal of Economics. – 2016. – Vol. 2. – № 3. – P. 302–326.
10. *Johnson J., Woodruff D.* Currency Crises in Post-Soviet Russia // The Russian Review. – 2016. – Vol. 76. – № 4. – P. 612–634.
11. *Latova N.* Trends and Factors Determining the Life Satisfaction of Russians (1997–2017) // Sociological Research. – 2018. – Vol. 57. – № 5–6. – P. 247–265.
12. *Shevchenko O.* Crisis and the everyday in postsocialist Moscow. Bloomington: Indiana University Press, 2008. – 256 p.

ECONOMIC CRISIS IN MASS REPRESENTATIONS OF RUSSIANS

A.V. Semenov

Perm Federal Research Center UB RAS

For citation:
Semenov A.V. Economic crisis in mass representations of Russians // Perm Federal Research Center Journal. – 2021. – № 3. – P. 52–61. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.7

During the post-Soviet period, Russians have experienced several economic crises, which have become a prism for assessing the political situation in the country and the direction of its development.

In this article, based on mass polls data by the Public Opinion Foundation (FOM) and Russian Public Opinion Research Center (VCIOM) in 2019–2020, the author has reconstructed public perceptions of the economic crisis, identified the groups more inclined to admit the crisis in the country, described adaptive mechanisms they used, and assessed if the feeling of crisis affect the public trust in political institutions. A quantitative textual analysis of the open entry responses concerning the characteristics of the economic crisis shows that it is consistently associated with the gap between available and desired levels of consumption and economic security, rather than a sharp decline in macroeconomic indicators. Rising prices, low living standards and low wages are the most frequent indicators of the crisis in the responses. Respondents in the low-income categories and younger cohorts are the most susceptible to the crisis. Adaptation mechanisms had already begun to form on the eve of the main wave of the pandemic in March 2020, but the increased level of uncertainty about the future determined the demand for trustful information on the state of affairs in the economy.

The study also shows that the feeling of crisis is associated with the decreased distrust of governmental bodies. In general, the work demonstrates the importance of studying

subjective assessments of well-being and their role in structuring information about processes in politics and economy.

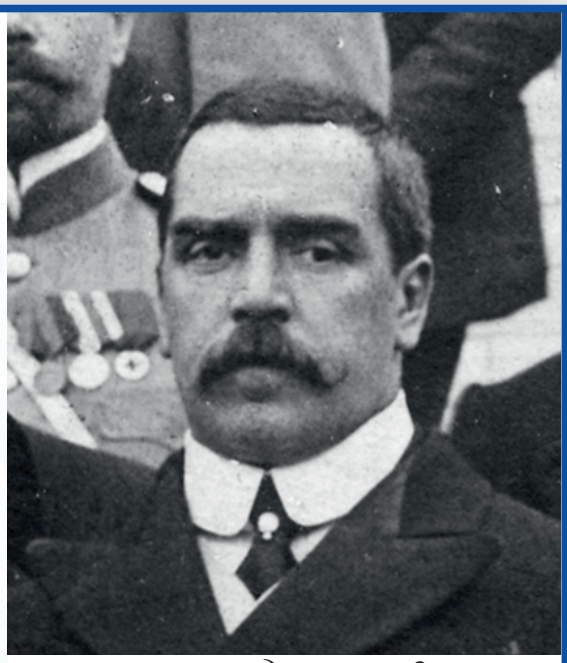
Keywords: economic crisis, economic hardships, public opinion, public expectations, public trust.

Сведения об авторе

Семенов Андрей Владимирович, кандидат политических наук, научный сотрудник, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН), 614990, г. Пермь, ул. Ленина, 13А; e-mail: andreysemenov@comparativestudies.ru

Материал поступил в редакцию 10.04.2021 г.

ИЗ ИСТОРИИ РОДНОГО КРАЯ



Европеус Владимир Иванович



Владимир Иванович Европеус
1914 г. (Архив Д. Б. Кошко)

УДК 908

ЕВРОПЕУС ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ (1866–1931), *ПЕРМСКИЙ ВИЦЕ-ГУБЕРНАТОР: ОБРЕТЕННОЕ ЛИЦО*

В.Н. Аброськин, *член Российского военно-исторического общества (РВИО), краевед-исследователь*
М.Г. Редькина, *член Российского военно-исторического общества (РВИО), режиссёр ТВ*

Для цитирования:
Аброськин В.Н., Редькина М.Г. Европеус Владимир Иванович (1866–1931), Пермский вице-губернатор: обретенное лицо // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2021. – № 3. – С. 63–79. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.8

Статья посвящена 155-летию со дня рождения Пермского вице-губернатора Владимира Ивановича Европеуса. Своим исследованием мы ставили задачу выяснить, кто из представленных на двух фотографиях личностей под одной фамилией действительно является Европеусом. Методом сравнительно-исключительного анализа установили истинный фотооблик Пермского вице-губернатора, проанализировали и выяснили причину возникновения данной исторической ошибки.

В основе исследования лежат архивные и фото-документы, обнародованные впервые, дискуссионные материалы, воспоминания, мнения архивистов, историков и краеведов, а также полевые работы авторов.

Ключевые слова: *Европеус, Земство, вице-губернатор, МВД, Пермская губерния, репрессии, реабилитация.*

ПРОЛОГ

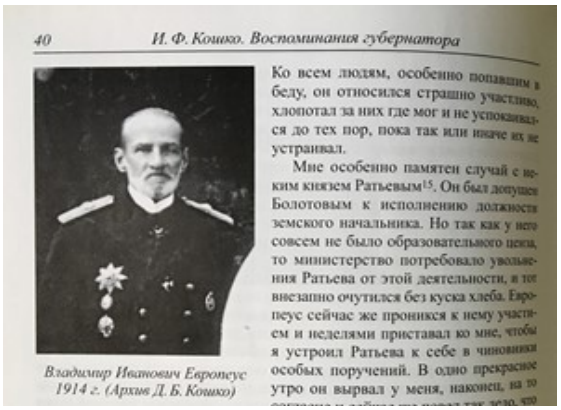


Осенью 2007 года стараниями сотрудников Демидовского института города Екатеринбурга в издательстве «Уральский рабочий» увидела свет книга И.Ф. Кошко «Воспоминания губернатора. Пермь (1911–1914)». Мемуары губернатора, касающиеся его «пермского периода», были изданы впервые. Они продолжают и дополняют его воспоминания о службе в Новгородской, Самарской и Пензенской губерниях, опубликованные еще в 1916 году в Петрограде.

Текст мемуаров и редкие, даже уникальные снимки были любезно предоставлены правнуком Ивана Францевича – Дмитрием Борисовичем де Ко́шко, журналистом агентства «Франс-Пресс», руководителем общественной Ассоциации «Франция-Урал».

Это позволило открыть нам целую галерею образов многих государственных и политических деятелей той эпохи. Особую ценность представляют старые фотографии из семейного альбома «Пермь. Дом Губернатора. Интерьер помещений».

Нас заинтересовала фотография Владимира Ивановича Европеуса, который с 1907 по 1915 год служил вице-губернатором в Пермской губернии.



40 И. Ф. Кошко. Воспоминания губернатора

Владимир Иванович Европеус 1914 г. (Архив Д. Б. Кошко)

Ко всем людям, особенно попавшим в беду, он относился страшно участливо, хлопотал за них где мог и не успокаивался до тех пор, пока так или иначе их не устраивал.

Мне особенно памятен случай с неким князем Ратьевым[15]. Он был допущен Болотовым к исполнению должности земского начальника. Но так как у него совсем не было образовательного ценза, то министерство потребовало увольнения Ратьева от этой деятельности, и тот внезапно очутился без куска хлеба. Европеус сейчас же проникся к нему участием и неделями приставал ко мне, чтобы я устроил Ратьева к себе в чиновники особых поручений. В одно прекрасное утро он вырвал у меня, наконец, на то





Губернаторский дом в Перми. 1914 г. (Архив Д. Б. Кошко)

ФАМИЛИЯ
(произношение и корни)

Родовая скандинавская фамилия на «-ус» – *EUROPAE**US***, указывает, скорее, на шведско-немецкие корни рода, чем на финские. Вспомним химиков шведов Сванте Арре́ниуса, Йенса Якоба Берце́лиуса и Арне Тисе́лиуса, композитора Яна Сибе́лиуса, солиста квартета ABBA Бьёрна У́львеуса и немецких ученых физика Рудольфа Юлиуса Эммануля Клау́зиуса и Августа Фердинанда Мёбеуса. Из россиян – сподвижника Петра I думного дьяка Андрея Ви́ниуса, революционера Яна Фабри́циуса и русскую поэтессу немецкого происхождения Зинаиду Николаевну Ги́ппиус.

Как правильно поставить ударение, даже филологи затрудняются дать исчерпывающий ответ. Дело в том, что нет единого правила по постановке ударений в фамилиях. Дело в языковых традициях. Если считать, что производное слово фамилии – Евро́па, то ударение в слове на второй слог – Евр**о́**пеус. Многие произносят Европ**е́**ус**,** вероятно мотивируя это тем, что «**Европеус» – это «европе́ец».** Таким образом, произносить фамилию можно двояко (как, например, Ди́сней и Дисне́й).

Шведские, а не немецкие корни подтверждает и недавно открывшийся факт [**GENI.COM, всемирный сайт создания онлайн-родословных, 20.08.2020**], что дедом Владимира Ивановича был швед Иван (**Johan Jakob Europaeus**) Исаакович Европеус (24.06.1795–27.03.1875). Легендарная личность, получивший общее образование в университете (Abo Academi) города Або (*в 1229 г. основан шведами, в 17 веке стал административным центром Финляндии и был переименован в Ту́рку*). Окончил Императорскую медицинско-хирургическую академию в Санкт-Петербурге. Дважды он попадает в поле зрения военных летописцев той далёкой эпохи: первый раз как «лекарь прусского короля в Новгородских военных поселениях» (1820–1830), второй как раз «старший лекарь новгородского военного госпиталя» (1832) и всего военного поселения (1819–1844), вскоре переведённый по службе на Кавказ. Он прославился ещё и как литератор-мемуарист.

Статья Елены Селифоновой «Во благо народного здравия…», опубликованная 21.08.2018 года на сайте Весьегонской[1] центральной библиотеки имени Д.И. Шаховского, значительно обогатила наши познания о докторе Европеусе. В частности, что в 1864 году Иван Исаакович получил чин действительного статского советника, служа врачом-хирургом Министерства народного просвещения Российской Империи. А с 1869 по 1874 год он уже вольнопрактикующий врач, «выполняющий свои обязанности без различия сословий». Вероятно, не только за это Земское Собрание Весьегонского уезда «решило увековечить память о враче учреждением земской стипендии имени врача И.И. Европеуса». Для этого в банке «был открыт земский капитал имени врача в сумме 800 рублей» и на проценты с данного капитала восемь способных учеников имели возможность обучаться медицине. Иван Исаакович скончался в возрасте 79 лет в селе Покровском под Тверью.

РОЖДЕНИЕ

По данным Книги Памяти жертв политических репрессий в Новосибирской области (Выпуск 5-й; г. Новосибирск, Изд-е ООО «К-2», 2018, с. 25), год рождения Владимира Ивановича Европеуса указан 1856, в интернет источниках встречается дата 1861 год. Очевидно, что надо верить документам **РГИА, фонд 1284, опись 47-1907, Дело № 65** «О назначении коллежского советника Европеуса Пермским вице-губернатором и Астраханским вице-губернатором», в послужном списке В.И. Европеуса написано: – «Владимир Иванович Евро́пеус родился **19 августа 1866 года** в [маленьком городке] Париккала[2] Кексгольмского Среднего уезда Выборгской губернии Великого княжества Финляндского Российской Империи».

Его родители – **Йоганн (Иван Иванович) и Мария (Ивановна) Евро́пеус**[3]**.** Семья была многодетной. Кроме Владимира, в семье было еще два сына – **Сергей и Николай** и три сестры – **Мария, Прасковья, София.** Владимир был первым, старшим ребёнком у Европеусов.

УЧЕБА и ВОЕННАЯ СЛУЖБА

30 июня 1885 года, в свои неполные 19 лет, В.И. Евро́пеус «вступил в службу из воспитанников Санкт-Петербургской военной прогимназии в 160-й пехотный Абхаз-

[1] Весьегонск или Весьёгонск – старинный небольшой город (с 1776 года) на северо-западе России в Тверской области. Расположен на берегу Моложского залива Рыбинского водохранилища. Название произошло от деревни Весь на реке Ёгне и первоначально звучало как Весь Ёгонская. Административный центр Весьегонского муниципального округа. Население – 6 016 жителей (2020). Расстояние до Москвы – 387 км, до Твери – 250 км. В Весьегонске, кстати, родился наш Николай Васильевич Мешков (1851–1933), известный российский купец-пароходчик, меценат, общественный деятель и основоположник высшего образования на Урале.

[2] В настоящее время финский город Па́риккала входит в состав провинции Южная Карелия губернии Южная Финляндия. Однако, по данным той же Книги Памяти жертв политических репрессий в Новосибирской области (Выпуск 5-й; г. Новосибирск, Изд-е ООО «К-2», 2018, с. 25), местом рождения Владимира Ивановича указан город Новгород.

[3] Евро́пеус Мария Ивановна, урожденная А́нненкова. Корни старинного русского дворянского рода А́ннековых вышли из середины XV века и произросли в Курской, Нижегородской, Орловской, Пензенской и Харьковской губернии. В XIX веке Анненковы дали России немало видных государственных мужей. Несколько примеров: Иван Александрович (1802-1878) – легендарный декабрист; Иван Васильевич (1813–1887) – генерал-адъютант, обер-полицмейстер Санкт-Петербурга; Николай Николаевич (1799–1865) – генерал от инфантерии, военный губернатор Киевской губернии; Михаил Николаевич (1835–1899) – генерал от инфантерии, член Военного совета Империи; Павел Васильевич (1813–1887) – литературный критик, подготовивший первое научное собрание сочинений А.С. Пушкина.

ский полк вольноопределяющимся III разряда…»[4] и уже 3 сентября того же года автоматически стал курсантом Казанского пехотного юнкерского училища **(КПЮО).** Владимир Иванович получил среднее специальное военное образование, окончив **КПЮО** 26 июня 1887 года в чине подпрапорщика[5].

Училище было создано 1 сентября 1866 года при штабе Казанского военного округа со штатной численностью 200 человек (2 стрелковые роты). Вплоть до своего расформирования 6 ноября 1917 года училище дислоцировалось на территории Казанского кремля. Главный корпус училища был расположен вдоль проезда Кремля от Спасской до Тайницкой башни.

По окончании училища Евро́пеус служил в 9-м пехотном полку 61-й пехотной резервной бригады 17-го армейского пехотного корпуса в г. Новоузе́нске (другое название города – Новый Узе́нь), в срок получая свои очередные звёздочки[6] на погоны (22.01.1889 – подпоручик, 13.06.1893 – поручик). 14 апреля 1893 года поручик Европеус был откомандирован в управление воинского начальника Климовиченского уезда. Возможно, это была попытка карьерного роста по военной стезе – неизвестно. Но менее чем через один год, 16 февраля 1894 года, в неполные свои тридцать лет Евро́пеус ушел с военной службы и был «зачислен в запас армейской пехоты Самарского уезда…»[7]. У него начинался новый этап жизни на государевой службе.

САМАРСКИЙ ПЕРИОД
СЕМЬЯ

11 марта 1894 года Владимир Иванович был назначен на должность Земского начальника **9-го участка** Ставропольского уезда Самарской губернии, где получил свой первый гражданский чин **коллежского секретаря**[8] (26.04.1896).

26 сентября 1896 года В.И. Евро́пеус переведен на такую же должность – земского начальника **4-го участка** в городе Мелеке́ссе[9] Ставропольского уезда Самарской губернии. В том же году (26.09.1896), много раньше срока (ведь временной «шаг» между коллежским советником и советником титулярным должен был составлять 3 года) получает чин **титулярного советника**. В следующем году (26.09.1897) – уже **коллежского асессора**.

В 1899 году Владимир Иванович женился **«1-м браком на Вере Арсеньевне»**[10] (Соколовой), дочери известного русского юриста, надворного советника Арсения Александровича Соколова (1849–1898) и **9 апреля 1899 года** вновь переводится на должность начальника 9-го участка.

15 октября 1900 года Евро́пеуса переводят, уже на **6-й участок,** где он несёт службу вплоть до 15 июля 1901 года, когда, скорее всего, по семейным обстоятельствам, «согласно прошения», он переходит из **6-го в 7-й участок.** Где и служит вплоть до своего «пермского периода». 26 сентября 1901 года ему присваивается чин **надворного советника** и только почти через 6 лет, 2 апреля 1907 года, – чин **коллежского советника**.

У Веры Арсеньевны и Владимира Ивановича родилось трое сыновей-погодков. Старший сын – Все́волод появился на свет в 26 марта 1906 году в слободе Покровская Новоузе́нского уезда. 26 сентября 1907 года там же, в слободе Покровской, родился средний сын Кирилл. В 1908 году, уже в Перми, родился младший сын Юрий.

[1,5,6,7] РГИА, фонд 1284, опись 47-1907, Дело № 65 «О назначении коллежского советника Европеуса Пермским вице-губернатором и Астраханским вице-губернатором», послужной список Европеуса В.И.

[5] Колле́жский секретарь – гражданский чин X класса в Табели о рангах. В армии ему соответствовал штабс-капитан, а на флоте (1907–1917 гг.) лейтенант. Лица, получившие этот чин могли занимать хоть и невысокие, но руководящие должности. «Шаг» до следующего чина XI класса – титулярного советника составлял 3 года.

[6,10] Мелекесс с 1972 года переименован в Димитровгра́д, город в Ульяновской области; расстояние от Димитровграда до Ульяновска - 80 км, до Самары – 160 км, до Тольятти, в тот период – Ставрополя, – 100 км.)

Однако, в личном деле Евро́пеуса были обнаружены сведения об ещё двух детях: сыне Юрие, 27 августа 1903 года рождения и дочери Татьяне, 9 января 1905 года рождения.

Казалось бы, годы в Самарском Земстве были спокойными и хрестоматийно-идиллическими для Владимира Ивановича. Однако именно в этот период времени Самарская губерния среди других регионов Российской Империи стала территорией особенно сильных крестьянских волнений и беспорядков с погромами, поджогами, убийствами и «небывалым влиянием на умы эсеровских идей». Не обошли они и Покровскую слободу, где вспыхнуло восстание. Здесь Владимир Иванович показал себя бойцом. Сказалось армейское образование и быстрота реакции.

Слобода осталась без связи с «большой землей»: телеграфные провода были предусмотрительно «оборваны восставшими». Тогда В.И. Евро́пеус отправил «***вестово́го»***[11] за помощью не в губернский центр – Самару, а напрямую через Волгу к соседям в Саратов, ломая рамки всяческих субординаций. Восстание было быстро и жестоко подавлено. Владимир Евро́пеус получил благодарность Саратовского губернатора ***П.А. Столы́пина***[12]*,* вскоре назначенного министром внутренних дел (с 26.04.1906 г.) и чуть позже (с 08.07.1906 г.) совместившего эту должность с другой, гораздо более высокой, – председателя Совета Министров (премьер-министра) Российской Империи (1906–1911 гг.).

НАЗНАЧЕНИЕ в ПЕРМЬ

30 июня 1907 года, по *протекции* (в хорошем смысле этого слова) премьера Столыпина П.А., Высочайшим приказом по Гражданскому ведомству МВД № 43 «Земский начальник 7-го участка из Новоузенского уезда Самарской губернии, коллежский советник Евро́пеус [Владимир Иванович] назначен Пермским вице-губернатором.»[13].

Назначению Евро́пеуса в Пермь на открывшуюся внезапно вакансию (в связи со скоропостижной смертью вице-губернатора, действительного статского советника (д.с.с.), Коптева Николая Ни́ловича) способствовала хорошая память Столыпина, начавшего проводить самостоятельную кадровую политику и расставлять на ключевые должности в губерниях своих людей.

Интересно, что губернатор А.В. Болотов совсем не Евро́пеуса видел на месте своего нового вице-губернатора. Болотов писал А.Д. Арбузову и лоббировал назначение «коллежского асессора Соловьёва, непременного члена Пермского губернского присутствия». Озадаченный пожеланием премьер-министра насчёт Евро́пеуса, Арбузов даёт поручение Управляющему Земским отделом МВД Я.Я. Литвинову дать ответ Болотову. Яков Яковлевич даёт изумительный по своей бюрократической казуистике ответ, суть которого сводится к тому, что из двух кандидатур предпочтительнее иная[14].

---

[11] Вестово́й или посы́льный - служащий для срочной доставки информации и (или) ответа на неё по делам службы в военном и пожарном деле («ехал с грамотой *гоне́ц* и приехал наконец»).

[12] Столыпин Пётр Аркадьевич (род. 02.04.1862 – убит 05.09.1911) – российский государственный деятель рубежа XIX–XX веков. Председатель Совета министров Российской Империи (08.07.1906–05.09.1911), Статс-секретарь Его Императорского Величества (1908), гофмейстер (1906), действительный статский советник (1904), гродненский (1902–1903) и саратовский (1903–1906) губернатор, министром внутренних дел (с 26.04.1906 г.), а с 08.07.1906 г., одновременно и Предсовмина Российской Империи.

[13] РГИА, фонд 1284, опись 47-1907, Дело № 65 «О назначении коллежского советника Европеуса Пермским вице-губернатором и Астраханским вице-губернатором», справка Департамента Общих Дел МВД России от 05.07.1907 г.

[14] РГИА, фонд 1284, опись 47-1907, Дело № 65 «О назначении коллежского советника Европеуса Пермским вице-губернатором и Астраханским вице-губернатором», письмо-ответ Управляющего Земским отделом МВД России Литвинова Я.Я. пермскому губернатору Болотову А.В. от 21.06.1907 г. № 241.

ПЕРМСКИЙ ПЕРИОД

«1 сентября в Пермь приехал новый Пермский вице-губернатор В.И. Евро́пеус, бывший земский начальник Новоузе́нского уезда Самарской губернии...» – писали «Пермские губернские ведомости». На самом деле в губернскую Пермь он прибыл лишь 04.09.1907 года. Пока один, без семьи, ведь Вера Арсеньевна вот-вот должна было родить. О прибытии он сразу уведомил МВД: ***«Прибыв в Пермь вступилъ управление губернией И.Д. губернатора вице-губернатор Европеусъ»***[15].



В Перми, когда всё семейство уже было в сборе, Евро́пеусы поселились на съёмной квартире, расположенной на втором этаже Доходного дома купца А.Е. Попова, торговавшего железом, сталью, чугуном, скобяными изделиями на углу Екатерининской (№ 66) и Сибирской (№ 12), через дорогу наискосок от Дома губернатора.

Канцелярия же губернатора находилась кварталом выше от съемного жилья Евро́пеусов, на углу Сибирской и Вознесенской (Луначарского), поэтому на службу он зачастую ходил пешком. Следует заметить, что у такого высокопоставленного государственного чиновника, как Евро́пеус, не было своего личного жилья во всех «городах и ве́сях» несения им государевой службы. Ведь жить на съёмном жилье даже вице-губернаторам, министрам и их «товарищам» делом считалось незазорным. Они не обрастали имуществом за казенный счет, а именно служили Отечеству. Не исключением были и губернаторы. Только для них в «столицах» субъектов Империи везде было отстроено **казённое** жильё – Дома губернаторов.

Второе упоминание о Евро́пеусе в пермской прессе относится к 28 сентября 1907 года. Напомним, что **21–25 сентября 1907 года** Пермь навестил министр торговли и промышленности[16] Российской Империи Д.А. Филосо́фов[17].

Визиты министров, что тогда, что в наше время, – дело для местных властей весьма хлопотное. Тогда Евро́пеусу пришлось попоте́ть в буквальном смысле.





[15] РГИА, фонд 1284, опись 47-1907, Дело № 65 «О назначении коллежского советника Европеуса Пермским вице-губернатором и Астраханским вице-губернатором», телеграмма Европеуса В.И. в МВД от 04.09.1907 г.

[16] Министерство торговли и промышленности (МТиП) Российской Империи – центральное государственное ведомство России по надзору за частной промышленностью и торговлей, управлению казённой промышленностью и проведению правительственной рабочей политики. Было образовано 27.10.1905 года и прекратило своё существование 26.10.1017 года в связи с революционными изменениями в стране.

[17] Филосо́фов Дмитрий Александрович (род. 30.01.1861 – ум. 06.12.1907) – крупный чиновник и государственный деятель Российской Империи. Шталмейстер (изначально – главный конюший, заведующий царскими конюшнями; в 19 веке чин потерял свой первоначальный смысл и стал означать один из высших придворных чинов) Двора Его Императорского Величества (06.12.1905), государственный контролёр России (1905–1906), член Госсовета и министр промышленности и торговли Российской Империи с 27.07.1906 по 06.12.1907 гг. Кавалер ордена Святой Анны.



Петр Аркадьевич Столыпин
(1986–1911)
Председатель Совета министров
Российской империи

Дело в том, что «в ночь на вторник (25.09.1907 г.) губернатор Бóлотов[18] почувствовал ухудшение от боли в ухе и не смог присутствовать на совещании с министром и весь день провел в постели». Принимал высокого гостя из столицы – Владимир Иванович. В итоге, удовлетворенный визитом в провинцию, министр в тот же день ***«с почтовым поездом в 9:14 вечера выехал в Петербург».***

Кроме министра торговли Пермскую губернию также посещали военный министр **В.А. Сухóмлинов** (19.03.1910) с инспекцией Мотовилихинского пушечного завода и Премьер-министр Правительства **П.А. Столыпин** (07.09.1910) в сопровождении главноуправляющего землеустройством и земледелием (министра госимуществ и земледелия Империи с 1908 по 1915 гг.) **А.В. Кривошеина**[19], министр путей сообщения. Империи, действительный тайный советник[20] **Рухлов С.В.**[21]



Дмитрий Философов,
товарищ Государственного
контролёра (~1904 год)
Министр торговли и
промышленности России
(27.07.1906–06.12.1907)



Болотов Александр
Владимирович
(03.10.1866 – 26.04.1938),
Пермский губернатор
(1905–1909)



Владимир Александрович
Сухомлинов
Военный министр
11.03.1909 – 13.06.1915



Александр Васильевич Кривошеин
член Государственного совета
06.05.1906 – 01.05.1917
Главноуправляющий
землеустройством и земледелием
21.05.1908 – 26.10.1915

[18] Бóлотов А.В. (03.10.1866 – 26.04.1938) – потомственный дворянин Тульской губернии, действительный статский советник и камергер (придворная должность и почётное придворное звание в Российской Империи 1809–1917), Пермский губернатор (1905–1909). После отставки по состоянию здоровья с поста пермского губернатора более высоких постов не занимал. Революцию 1917 г. не принял и покинул Россию. В эмиграции принял монашество под именем схимонаха Амвросия. Перед смертью жил в монастыре Святого Пантелеймона на Афоне.

[19] А.В. Кривошеин (1857–1921) – российский государственный деятель. Окончил юридический факультет Императорского Санкт-Петербургского университета со степенью кандидата прав. Гофмейстер (1909), статс-секретарь (1910), действительный тайный советник. Главноуправляющий землеустройством и земледелием Империи (1908–1915). Член Госсовета. Кавалер орденов: Святого Благоверного князя Александра Невского (1915), Белого орла (1913), Святого равноапостольного князя Владимира 2-й степени (1912), Святой Анны 1-й степени (1908), а также трёх орденов Святого Станислава (1889, 1891, 1906). Революцию не принял. Занимался активной антибольшевистской деятельностью. Председатель правительства Юга России (1920), затем уехал в Константинополь, а затем в Париж и Берлин, где и скончался. Похоронен на русском кладбище Тёгель под Берлином

[20] Действительный тайный советник (ДТС) – «тайный», то есть «относящийся ко двору, достойный доверия». Гражданский чин 2-го класса в Табели о рангах. Соответствовал «полному» армейскому генералу и флотскому адмиралу и высшим придворным чинам. Не каждый министр имел этот чин. Большинство ДТС служило в Санкт-Петербурге в главных государственных учреждениях – Госсовете и важнейших министерствах. На 1903 год в России было всего 99 ДТС. Как и другие чины, прекратил существование с 12 ноября 1917 года – даты вступления в силу Декрета об уничтожении сословий и гражданских чинов.

[21] Рухлов С. В. (24.06.1852–19.10.1918) – российский государственный деятель министр путей сообщения (1909–1915), член Государственного Совета Империи (06.11.1905–27.10.1915), статс-секретарь (1912), действительный тайный советник (1913). Искренний русский националист, покровительствовал организациям правого и ультраправого толка, в том числе «Союзу русского народа». Член Всероссийского Александро-Невского братства (общества) трезвости (ноябрь 1914). Награды: 5 [юбилейных] медалей и 5 орденов Российской Империи: Святого Станислава I степени (1896), Святой Анны I степени (1898), Святого бриллиантовые знаки к ордену Святого Александра Невского (1910), а также бриллиантовые знаки к ордену Святого Александра Невского (1915). В ходе Февральской революции был арестован и находился под следствием. После освобождения уехал на Северный Кавказ. 29 августа 1918 года арестован в Ессентуках ЧК Северного Кавказа, содержался в Пятигорске в составе группы заложников по делу «О покушении на жизнь вождей пролетариата» и был вместе с ними зарублен шашками на горе Машук. Расправой руководил чекист Г.А. Атарбеков (Атарбекян).

(21.07.1911), и везде видим участие в программах пребывания высоких гостей на пермской земле героя нашего исследования. Евро́пеус в Перми часто берет на себя «штурвал» управления губернией. С октября 1907 по декабрь 1909 года губернатор Болотов А.В. четыре раза уходил «на больничный», оставляя управление делами в губернии Европеусу. 31 декабря 1909 года Высочайшим Указом Государя-Императора Александр Владимирович был уволен со службы «по состоянию здоровья» и уже 3 января 1910 года покинул Пермь.

Вновь назначенный губернатор Лопухи́н прибыл к месту исполнения обязанностей лишь 17 марта, то есть через 2,5 месяца. Также Евро́пеус прили́чный по времени срок ***«исполнял обязанности (губернатора) в промежутке между Лопухины́м и мною»*** (1911 год) – так шутливо описал тот период времени И.Ф. Ко́шко в своих пермских мемуарах.

В.И. ЕВРОПЕУС «ГЛАЗАМИ» И.Ф. КОШКО

В тех же мемуарах И.Ф. Ко́шко так описывает своего «товарища»[22] Евро́пеуса в день приезда в Пермь 26 марта 1911 года ***(«3 часа 14 минут дня»),*** когда тот уже почти четыре года успел потрудиться здесь при двух губернаторах.

> Владимир Иванович Европеус был в то время еще совершенно молодым человеком, едва ли ему даже минуло 40 лет. Среднего роста, скрадываемого несколько округленностью брюшка, коренастая его фигура едва ли могла быть названной красивой, что не мешало ему, однако, очень нравиться женщинам и быть предметом весьма пылкого обожания многих из них. Большие карие глаза, когда улыбались и не косили, составляли прелесть этого лица. Глаза эти в минуты гнева способны были метать молнии. Добродушно-грубоватая речь старого кадета, уснащенная крупными словечками, была отличительным свойством Владимира Ивановича и пленяла сердца многих подчиненных ему маленьких людей, которые чувствовали себя в его обществе сразу без всякой принужденности. Он знал это и, мне кажется, иногда сознательно пускал в ход такой тон в обращении. Доброты этот человек был необыкновенной.

Семья Евро́пеусов была хлебосольной и очень гостеприимной...

ЖЕНА ВЕРА АРСЕНЬЕВНА

Вера Арсеньевна Европеус была маленькой, весьма подвижной и даже суетливой дамой с решительной и необыкновенно скоропалительной речью. Она рано лишилась матери и стала вести хозяйство обожавшего ее отца, управлявшего отделением Государственного Банка в Самаре. В доме отца воля ее была законом, как для самого хозяина, так и для всех ее окружавших. Это сделало ее маленьким тираном и привычки властвовать и повелевать остались на всю жизнь, несмотря на многие удары судьбы. Она была по природе необыкновенно правдивой и говорила всем, даже людям, от которых зависела судьба ее лично и мужа, как ей казалось, правду-матку, хотя эта правда очень и очень часто была далеко от действительной правды, и представляла собой нередко только плод ее не всегда уравновешенного воображения. Но тем не менее эта рыцарская черта была очень почтенна и меня всегда трогала. Если она говорила, что Вы ей нравитесь, то вы могли быть совершенно уверенным, что это именно так, так как никакие житейские блага не могли ее приневолить высказать не симпатичному ей человеку хотя



Вера Арсеньевна Европеус 1914 г. (Архив Д. Б. Кошко)

бы тень расположения. Это вообще неудобная в жизни черта, а когда занимаешь заметное положение в обществе, тем более. Но серьезные на этой почве неприятности не могли изменить Веру Арсеньевну. Мужа своего она обожала самой пылкой любовью и в этом чувстве не знала никакой меры. Она способна была для мужа пожертвовать своей жизнью, если бы это было нужно и в то же время отравляла ему существование невообразимой ревностью.

Следует заметить, что Вера Арсеньевна, кроме своих домашних и представительских функций при муже успешно занималась общественной работой и благотворительностью, являясь одновременно «Председательницей» двух обществен-

[22] «Товарищ» губернатора – здесь в буквальном смысле – заместитель губернатора, вице-губернатор. «Товарищи» были исключительно у министров, а у губернаторов – «вицы».

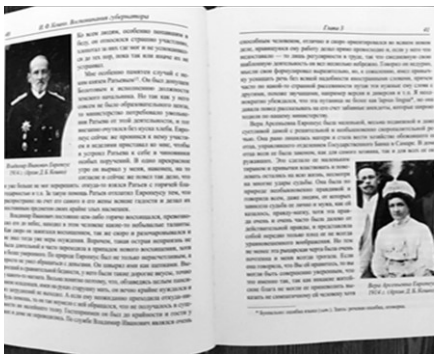
ных организаций (Обществ): «Пермского Общества трудовой помощи» и «Общества вспомоществования учащимся мужской гимназии» города Перми.

Будучи сама многодетной матерью, она находила время уделять внимание и чужим детям, устраивая рождественские ёлки для неимущих. Пермский журналист Мария Федотова, делая в январе 2011 года обзор пермской прессы за прошедшие сто лет, нашла любопытную заметку в «Пермских ведомостях» от 4 января 1911 года: «Ёлка для детей улицы, по примеру прошлых лет, устраивается ныне супругой **управляющего губернией**[23], В.А. Европеус, в **Богородицкой школе**[24], 6 января, в 3 часа дня. Сочувствующие этому симпатичному делу лица приглашаются прийти на помощь личным ли трудом по организации праздника, или материальной поддержкой в виде пожертвований деньгами, одеждой, обувью, игрушками, сластями. Пожертвования можно направлять на квартиру В.А. Европеус».

ЕВРОПЕУС не ЕВРОПЕУС

Еще раз повторимся, текст мемуаров и редкие, даже уникальные снимки из личного архива Дмитрия Борисовича де'Кошко представляют собой большую ценность. В главе № 3 на стр. 40–41 видим фото Владимира Ивановича Европеуса и его жены.


Дмитрий Борисович де'Кошко
Фото В. Аброськина



Фотографии выделены из общего коллективного снимка – «Фото участников встречи Виктории фон Ба́ттенберг», старшей сестры Императрицы Александры Федоровны в липовом саду Дома губернатора в Перми, датированного 19 июля 1914 года.



Казалось бы, мы увидели изображения Владимира Ивановича и его жены Веры Арсеньевны.

Слову авторитетного ученого, издателя читатель верит безусловно. Если подписано – **«Евро́пеус»**, значит так и есть. Впрочем, давайте обратимся к фото и комментариям к нему.



[23] Лопухин В.А. ещё губернатор (31.12.1909-28.02.1911), Кошко И.Ф. ещё и не назначен (28.02.1911-11.08.1914). Видимо, Европеус В.И. временно управлял губернией в январе 1911 года.

[24] Богородицкая школа (ныне старшая школа «Пермской православной классической гимназии во имя преподобного Сергия Радонежского»). Расположена в Перми на пересечении улиц Пермской (дом № 55) и Газеты «Звезда» (до революции - Оханская, 19) в историческом здании – Доме-памятнике благотворительности, построенном по проекту Турчевича А.Б. в 1896 году по инициативе председателя Рождество-Богородицкого попечительства Серебренникова П.Н. для первой в губернском центре церковно-приходской школы.

Мужчины слева направо: Владимир Иванович Европеус, Иванов (начальник Почтового управления Пермской губернии), инженер Транесибирской железной дороги, А. Крундышев (племянник М. С. Кошко), Григорий Васильевич Юрьевский (?) (городской голова Перми в 1916–1917 гг.), Альфирьев (пензенский помещик), Иван Францевич Кошко, Корнилов (секретарь великой княгини Елизаветы Федоровны).



Женщины слева направо: Елизавета Николаевна Ряслова (жена командира дивизии), Мария Степановна Кошко (жена губернатора), Виктория Федоровна Баттенбергская, ее дочь Алиса, дочь губернатора Ольга Ивановна Кошко, мисс Керр, Вера Арсеньевна Европеус (жена вице-губернатора).

1-й слева мужчина явно не подходит под описание Европеуса в тексте мемуаров Ивана Францевича Кошко: он не плотный и коренастый и ему явно больше 45 лет, он не похож на ловеласа и сердцееда. Это убелённый сединой «аксакал».

2-й слева – Иванов (имя и отчество пока нам неизвестно) начальник почтового управления Пермской губернии.

3-й – инженер Транссибирской железной дороги (кстати, встречается на некоторых более поздних коллективных снимках, сделанных в Перми).

4-й – Крундышев А., действительно, племянник Кошко М.С.

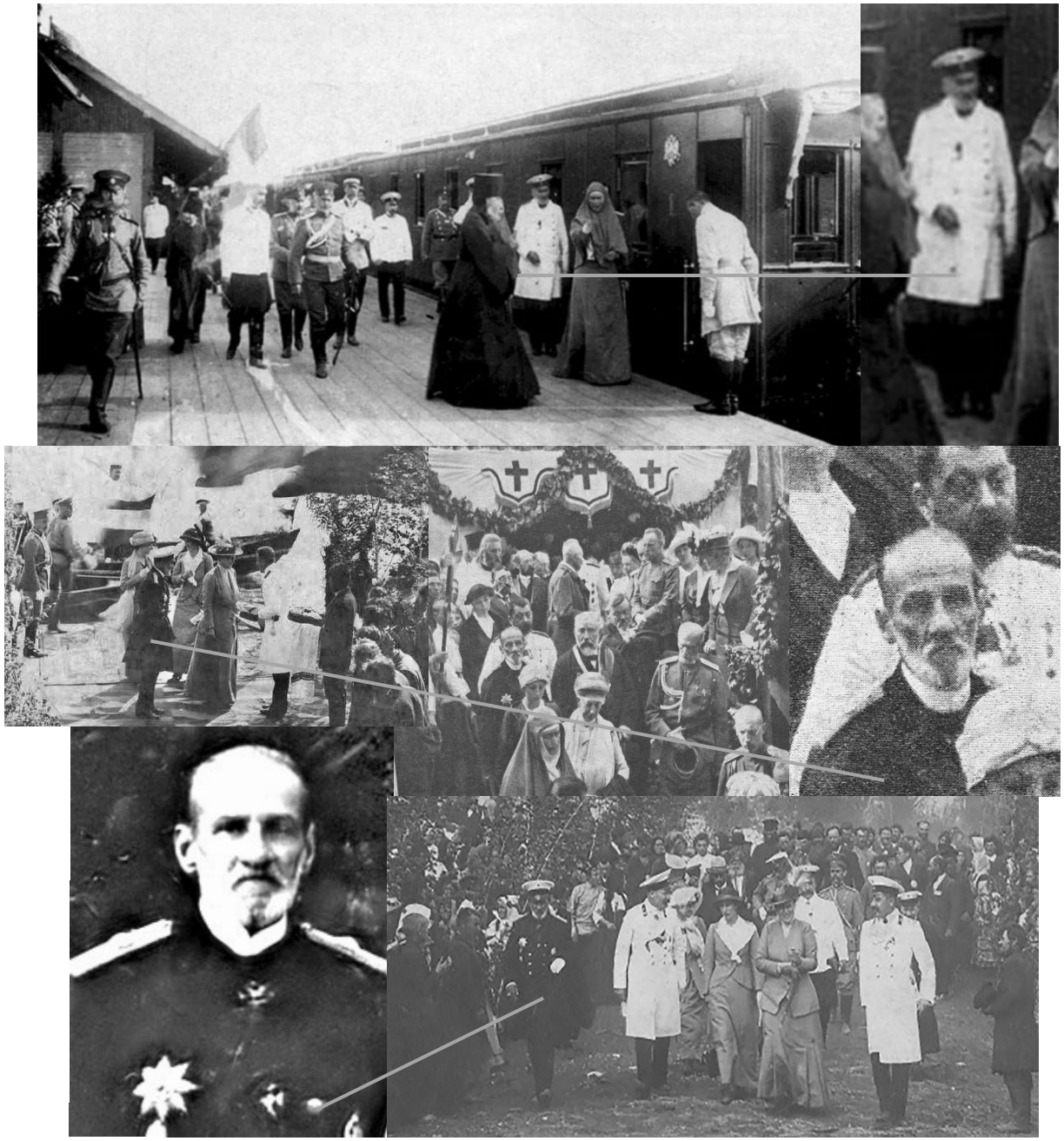
5-й слева – Юрьевский Г.В. – городской голова Перми в 1916–1917 г., удалось перепроверить, это он, так как встречается на многих дореволюционных фотоснимках.

6-й слева – Алфирьев, пензенский помещик (не нашли мы следов такого помещика, тем более, «человек», похожий на пензенца Алфирьева, очень часто встречается на пермских фотографиях), выходит, месяцами гостивший в Перми.

7-й слева – нет сомнений, сам губернатор Кошко И.Ф.

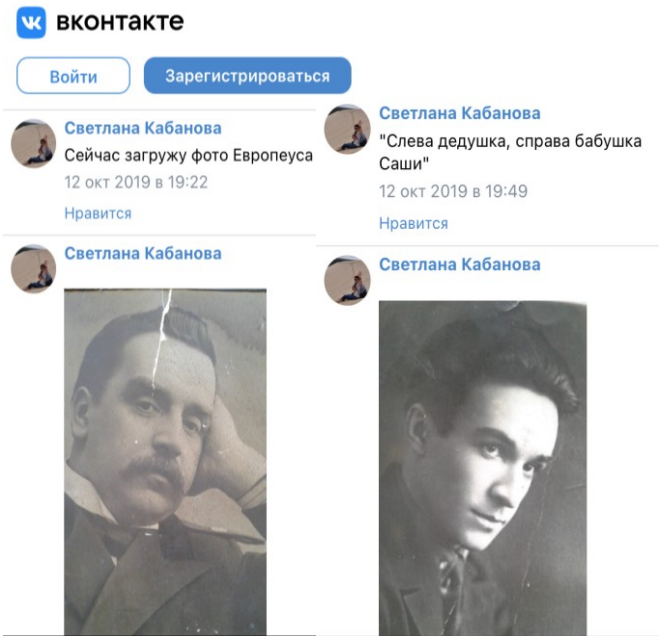
8-й – Корнилов (секретарь Великой княгини Елизаветы Фёдоровны).

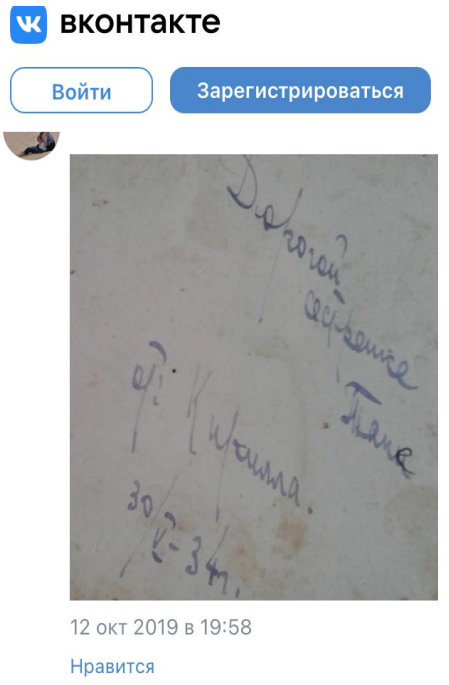
После изучения личности и послужного списка Корнилова А.П., смутила дата его рождения – 1850 год. Выходит так, что на момент фотографирования высоких гостей ему было 64 года (бритоголовому орденоносцу крайнему справа не более 50 лет). На такой возраст выглядит крайний слева седобородый чиновник в мундире МВД с погонами действительного статского советника, обозначенный как Европеус. Изучение же фотоархива Великой Княгини Елизаветы Фёдоровны открыло нам ряд интереснейших фото, где седобородый «Европеус» сопровождает Её Императорское Высочество и в 1910 и в 1915 годах, когда он мирно, казалось бы, должен был нести службу по управлению Пермской губернией.

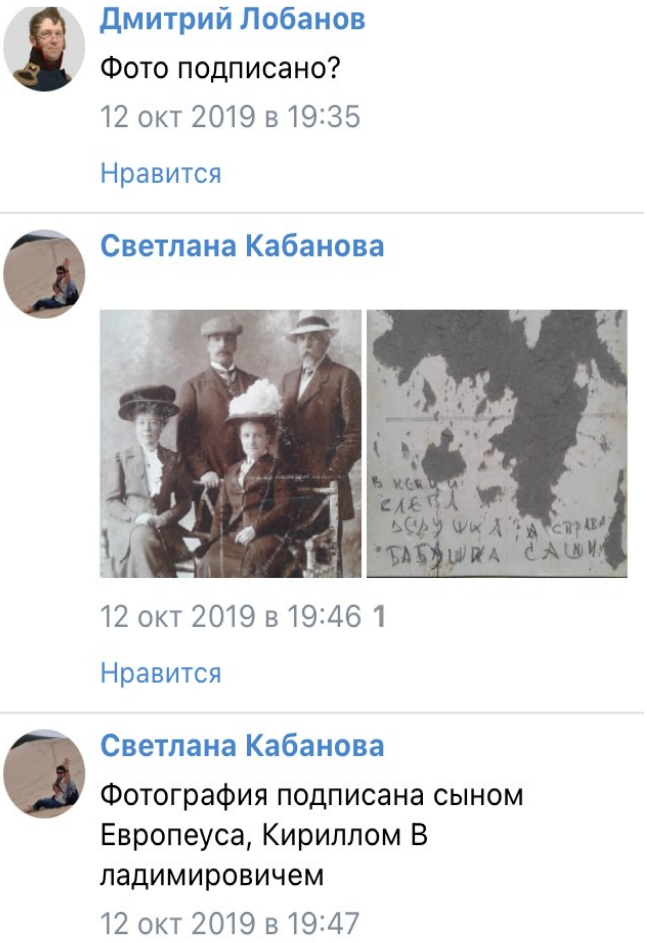


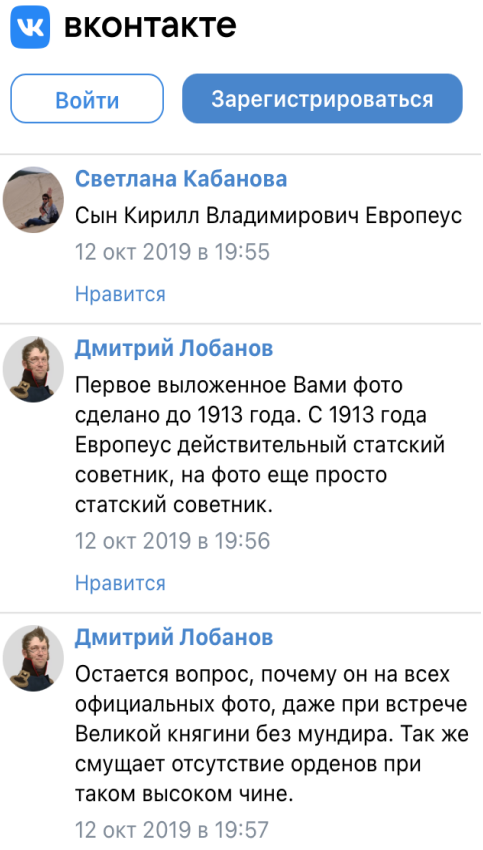
Значит «Владимир Иванович Европеус» – и есть Аркадий Петрович Корнилов (годы жизни – 1850–1928), действительный статский советник, гофмейстер Высочайшего Двора, секретарь Великой княгини Елизаветы Фёдоровны.

В 2019 г. в соцсети **VKONTAKTE»** возникает дискуссия пермских краеведов по опознанию на фото многих исторических личностей. К теме подключается **Светлана Кабанова** с выкладкой многих фото из семейного архива.









На выложенных **Светланой Кабановой** в сеть фотоснимках, мы увидели «пензенца» Алфирьева, подписанного как **«Европеус В.И.».** Есть он и на многих пермских снимках, непосредственно запечатлённый рядом с Верой Арсеньевной Европеус и с маленькими детьми.





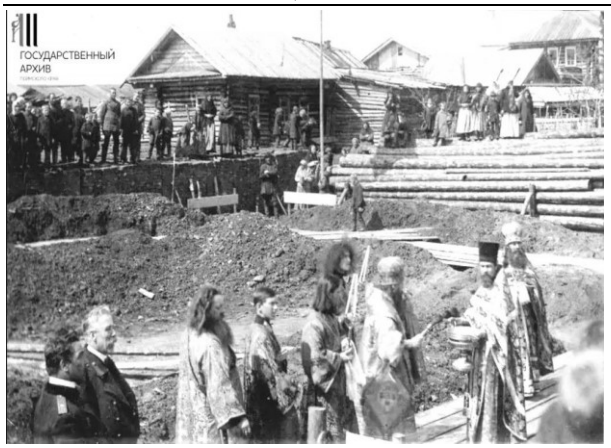
Зачем бы это «залётному» пензенскому гостю так прилюдно находиться поблизости от замужней дамы и жены не кого-либо, а вице-губернатора? Вывод напрашивается сам собой, что **здесь всё не так, и всё перепутано**.

«Алфирьев» – это Европеус, а не пензенский помещик. Бритоголовый же усач-военный – это, мы предполагаем, что генерал-майор Зуров А.А., в то время управляющий Конторою ЕИВ Великой Княгини Елизаветы Фёдоровны. Выяснили, что он был в составе свиты.



Наконец, все встало на свои места! Теперь мы точно знаем, как выглядел человек, чей вклад в управление Пермской губернией, развитие ее экономики, социальной и культурной жизни еще предстоит изучить и осмыслить.

В Пермском краевом архиве имеется много фотодокументов, благодаря которым безошибочно можно будет определить личность нашего героя.





ГАПК, фонд 62, опись 62 П, дело № 199 (фото выделено из коллективного снимка, датированного 25 мая 1913 года и сделанного в с. Ныроб Пермской губернии на одном из торжественных мероприятий, посвящённых 300-летию императорского Дома Романовых).



Библиографический список

1. *Аборкин В.И.* Лысьвенские, забастовка (март) и восстание (июль) 1914 г.// Материалы по Пермской области к Уральской исторической энциклопедии. Вып. 2. Пермь, ПГТУ, 1998. – С. 47–48.
2. *Аброськин В.Н.* Царственный визит (с публикацией 3 редких фото из фондов Кунгурского краеведческого музея-заповедника и Кунгурского городского архива) // «Аэропорт Пермь» (журнал для тех, кто любит летать). – Пермь. 2014. – № 6 (30). – С. 64–66.
3. *Аброськин В.Н., Редькина М.Г.* Незаслуженно забытое имя: Владимир Иванович Европеус (1866–1931), вице-губернатор Пермской губернии (1907–1915), действительный статский советник (1913). Пермский сборник [сост.: *Минеева О.А., Шумилова В.Н.*]. Материалы «XVII Смышляевских чтений». – Пермь, ПГКУБ им. А.М.Горького, 2021. – С. 193–202.
4. *Аверина Н.Ф.* Ф.М. Решетников и библиотека чиновников Пермской казённой палаты // История библиотеки–история страны: тез. докл. и сообщений науч.-практ. конф., посвящённой истории библиотечного дела в Прикамье, Пермь, Пермская областная библиотека, 1995. – С. 26–35.
5. Адресъ-календарь и справочная книжка Пермской губернии на 1908 год. Издание Пермскаго Губернскаго Статистическаго комитета под редакцией исп. Обяз. Секретаря Комитета А.Н.Скугарева. Пермь. Типо-Литография Губернскаго Правленія. 1908. Разд. III. Учрежденія и должностныя лица Пермской губерніи, с. 3 (впервые упоминается Европеус В.И.).

6. *Аристов Н.Г.* Первые дни революции 1917 г. в Перми (из записок б.[ывшего] чиновника); дневник-рукопись [хранится в Перми в ГАСПИ ПК], – Молотов, 1957.
7. *Ахтямов К.Ш.* Институт губернаторства – важнейший элемент административно-территориальных органов управления на рубеже XIX–XX веков // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Исторические науки. – № 2. – 1999. – С. 95–101.
8. Архивное дело Европеуса Всеволода Владимировича // Архив УФСБ Красноярского края, Дело № П-15642.
9. *Болотов А.В.* (1866–1938). Господин Великий Новгород: воспоминания. – Париж, 1925. – 246 с.
10. *Бы́стрых Т.И.* Александр Владимирович Болотов. Пермские губернаторы: традиции и современность / под общ. ред. *И.К. Кирьянова, В.В. Мухина*. – Пермь, 1997. – С.145–149.
11. *Бы́стрых Т.И.* Иван-Мячеслав Францевич Кошко. Пермские губернаторы: традиции и современность. / под общ. ред. *И.К. Кирьянова, В.В. Мухина*. – Пермь, 1997. – С. 177–183.
12. *Бы́стрых Т.И.* Судьба губернатора // «Пермские новости» (Пермская областная общественно-политическая газета). – Пермь, 2002. – № 21.
13. *Бы́стрых Т.И.* Пермь революцией не болела. Судьба братьев Кошко – главного российского сыщика и пермского губернатора. «Досье 02» (Пермская областная общественно-политическая газета). – Пермь, 2003. – № 2.
14. Великая княгиня Елизавета Фёдоровна в селе Елово Пермской губернии // Вестник смышляевских чтений. Вып. 6: [сб. ст., посвящ. 150-летию со дня рождения] Великой княгини Елизаветы Фёдоровны (1864-1918), председателя Имп. Правосл. Палестин. Об-ва (ИППО) с 1905 по 1917 г.г.) и 100-летию её приезда в Перм. Губ. (1914), [составители Хабирова М.Н., Шумилова В.Н.]. – Пермь: изд-во Пермского отделения ИППО, 2014. – С. 177–179.
15. *Верхоланцев В.С.* Летопись города Перми с 1890 по 1912 год. – Пермь: типография «Труд», 1913. – С. 175–241.
16. *Волков С.В.* Высшее чиновничество Российской империи: краткий словарь. – М., ун-т Дмитрия Пожарского, 2016. – С. 31.
17. Власть и закон. Губернаторы и прокуроры Пермского края. XVIII – нач. XX в.: Сб. / Сост. *Н.А. Зенкова, О.А. Мельчакова*. – Пермь: Кн. Изд-во «Пушка», 2020. – 512 с.
18. *Ганин А.В.* Сколько зарабатывали русские офицеры 100 лет назад? – М., 2017.
19. *Гладышев В.Ф.* Украсть… и жениться! // «Пермские новости» (Пермская областная общественно-политическая газета). – Пермь, – 1662. – № 9. – 12 с.
20. *Додонов Б.Ф., Копылова О.Н., Крячкова Л.В.* Новые документы о духовной и общественной деятельности Великой Княгини Елизаветы Фёдоровны: по Материалам московского охранного отделения (1909–1917 г.). // Вестник церковной истории № 3/4 (39/40). – М., «Православная энциклопедия», 2015. – с. 187.
21. *Долгих Л.А.* Путешествие Виктории Баттенбергской и её дочери Луизы по Пермской губернии в июле 1914 года. Грибушинские чтения-2006: тезисы докладов и сообщений V межрегион. науч.-практ. конф. – Кунгур, Кунгур.ист.-архит.и худож.музей-заповедник. – 2006. С. 207–216.
22. *Духа́нов С.С.* Проектные организации Западной Сибири 1930-начала 1940-х гг. // Вестник ТГАСУ (Томского государственного архитектурно-строительного университета), – № 4. – Томск, 2016. –21 с.;
23. *Кирьянов И.К., Рахшми́р П.Ю.* Преемственность и обновление: к эволюции института губернаторства в России // Пермские губернаторы: традиции и современность. – Пермь, 1997. – С. 5–13.
24. *Кирьянов И.К.* Лопухин Виктор Александрович: 1909–1911/ И.К. Кирьянов, М.Г. Суслов// Популярная энциклопедия Пермского края: сборник полезных краеведческих сведений. – Пермь, 2006. – Т. I. – С. 123–1124.
25. Книга Памяти жертв политических репрессий Красноярского края. Т. 3 (Д-И). – Красноярск: Издательские проекты, 2004. – 448 с.
26. Книга Памяти жертв политических репрессий в Новосибирской области. Вып. 5 Сост. и отв. ред. С.А. Папков. – Новосибирск, Правительство Новосибирской области, изд. ООО «К-2» – 2018. – с. 25.
27. *Ко́шко А.Ф.* Очерки уголовного мира царской России. Воспоминания бывшего начальника московской сыскной полиции и заведующего всем уголовным розыском россии, Москва, издательство «Столица», 1992. – С. 9–27.
28. *Ко́шко Д.Б.* (Дмитрий де Кошко́) Никто не спросит, за Путина вы или нет. Застрелят за то, что – русский… «Комсомольская правда», №136 (30342) от 08.12.2015, с. 9.
29. *Ко́шко И.Ф.* Воспоминания губернатора (1905–1914) Новгород-Самара-Пенза; – Петроградъ, 1916. – С. 44.
30. *Ко́шко И.Ф.* Воспоминания губернатора (1911–1914) Пермь (с комментариями Павловского Н.Г.) // сост. *Павловский Н.Г.*; – Екатеринбург, Демидовский институт, 2007.
31. *Ко́шко И.Ф.* Мелкий народный кредит как могучее средство борьбы с обеднением нашего крестьянства. – Новгородъ, 1899. – 24 с.

32. *Лобанова Н.Г.* Иностранцы в Ставрополе: Владимир Иванович Евро́пеус. // Тольяттинский городской архив, 20 мая 2014 г.; официальный сайт Администрации городского округа Толья́тти.
33. *Лози́на-Лози́нский М.А.* Административный суд в Австрии. // «Вестник права» (журнал юридического общества при Императорском Санкт-Петербургском университете); – Санкт-Петербург, Типография Правительствующего Сената, 1899. – № 10. – С. 12.
34. *Лози́на-Лози́нский М.А.* Крестьянское право. // «Вестник права» (журнал юридического общества при Императорском Санкт-Петербургском университете); – Санкт-Петербург, Типография Правительствующего Сената, 1892. – № 2. – С. 1–27.
35. *Лози́на-Лози́нский М.А.* Принятие в русское подданство. // «Право» (еженедельная юридическая газета); – Санкт-Петербург, 1899. – № 1. – С. 22–29; – №2. – С. 79–84.
36. *Лози́на-Лози́нский М.А.* Систематический сборник разъяснений Правительствующего Сената по делам о жительстве евреев (с разрешения г-на министра юстиции). – Санкт-Петербургъ, типография Ландау А.Е., 1902. – 624 с.
37. *Мамаева Е.* Пермское фотографическое общество. «РЕТРОспектива» (Пермский историко-архивный журнал), ООО «Издательский дом Бывальцева», – Пермь. – № 5 (16). – 2009. – С. 63–65.
38. *Макаров С.В.* Совет министров Российской империи. 1858-1917: государственно-правовые проблемы. – СПб, Издательство Санкт-Петербургского университета, 2000. – 136 с.
39. *Микитю́к В.П.* Онуфро́вич Адам Ильич. Инженеры Урала. Энциклопедия. – Екатеринбург, 2001. – С. 401;
40. *Мушкалов С.М.* Грибушины. Пермской губернии династия. – Пермь: ООО «Раритет-Пермь», 2007. – С. 177–182, 300.
41. *Михеенко Д.* Прогулки по Перми: Дом Групильона// Комсомольская правда. 2014. // [Электронный ресурс] – URL: https:www.perm.kp.ru/daily/26273.7/3150265/.
42. Пермские градоначальники. К 285-летию города Перми. Сборник статей. / Сост. *С.С. Смородина*, *О.А. Мельчакова*. –Пермь: Кн. Изд-во «Стиль-МГ», 2008. – 300 с.: ил., / с. 73–74, гл. о *Рябинине П.А*., городском главе с 1905–1917 г.
43. *Плотников Г.Н.* К вопросу о предпринимательской и благотворительной деятельности кунгурского купечества во второй половине XIX-нач. XX вв. // Путь в историю, пути в истории… Сб. статей и воспоминаний, – Пермь: ПГУ, 2002. – С. 154–156.
44. *Ри́кман В.Ю.* Дворянское законодательство Российской империи. Российское Дворянское Собрание, Департамент Герольдии; – Москва, 1992. – С. 14, 16.
45. *Рычкова Г.* Лысьва: страницы истории лысьвенской большевистской организации. 2-е издание. – Пермь, ПКИ, 1963. – С. 97–106.
46. *Рязанов С.М.* Пермский полицмейстер: Н.Н. Церешкевич. Статья в журнале «Интерактивная перспектива в гуманитарных науках». – Пермь: изд-во: Перм. госу. инс-та культуры, 2015. – С. 87–101.
47. *Рязанов С.М.* Поляки на полицейской службе в Пермской губернии (конец XIX – нач. XX в.). Статья в журн. «Вестник Пермского университета. История». – Пермь, изд-во Пермский гос. Нац. исслед. ун-та, 2015. – С. 110–119.
48. *Седаков П.* Хроника пензенского террора. «Наша Пенза» (Пензенская областная общественно-политическая газета). – Пенза, 2003. – С. 11.
49. *Селифонова Е.* Во благо народного здравия. Развитие медицинского обслуживания Весьегонского уезда. // 21 августа 2018 года; официальный сайт Весьегонской центральной библиотеки им. Д.И. Шаховского (упоминается земский врач, д.с.с. Европеус Иван Исаакович, дед Европеуса В.И.).
50. *Селянинова Г.Д.* Министерство внутренних дел, Пермское губернское правление и редакция газеты «Пермский край» // Путь в историю, пути в истории… Сб. статей и воспоминаний. – Пермь: ПГУ, 2002. – С. 163–172.
51. *Сидоровнин Г.П.* П.А. Столыпин. Жизнь за отечество. Жизнеописание (1862–1911). Изд. 4-е, доп. – М., Общество сохранения литературного наследия, 2014. – 792 с.
52. *Софонов Ю.* Уральский майдан. «Звезда» (Пермская краевая газета). – Пермь, 2014. – № 85 (32249). – С. 6.
53. *Спешилова Е.А.* Старая Пермь: Дома. Улицы. Люди. 1723-1917. Краеведческое издание; – Пермь, изд-во «Курсив», 1999. – С. 308 (о Европеусе В. И.).
54. *Стрельников М.* Мастера бузы́. // «Аэропорт Пермь» (журнал для тех, кто любит летать), – Пермь, 2020. – № 2 (70). – С. 12–15.
55. *Смородин И.А.* Бабий бунт. Из воспоминаний учителя (подг. к печ. А. Танова). Статья (о введении столыпинской аграрной политики «о хуторах и отрубах» в 1911 году в селе Б.Соснова). «Светлый путь» (печатный орган Большесосновского райкома КПСС и районного совета депутатов трудящихся Пермской области), 1976. – № 29 (4434). – С. 3.
56. *Субботин Е.П., Серов М.И.* Пермь. Жители и гости. 1723–1924: Словник. Книга 1, А-Л.-Пермь: – Арабеск, 2006. – С. 175 (упоминание о Евро́пеусе В.И., Европеус А.А.).

57. *Ýстюгова В.В.* Некоторые институциональные аспекты первого кино в Перми (анализируемый временной отрезок с 1895 по 1915 г.г. // прим. Аброськина В.Н.). Сб. ст. науч.-практ. конф. «Город Пермь: тенденции и динамика исторического развития» – Пермь, ИАМЦ «РЕТРОспектива», 2015. – С. 65–68.
58. *Федотова М.* «Что принёс нам год ушедший…». Обзор пермских газет 1911, 1961,1976 гг. (в частности, заметка в Пермских ведомостях 1911 года о благотворительной ёлке, устроенной супругой пермского вице-губернатора В.И. Европеуса [Верой Арсеньевной Европеус] в Богородицкой школе. «Мы-земляки» (журнал о Пермском крае и его жителях). – Пермь, 2011. – № 1–2. – С. 18–21.
59. *Черныш М.И.* Развитие капитализма на Урале и Пермское Земство. – Пермь, ПКИ, 1959.
60. Члены 2-й Государственной Думы: Биографии. Сравнительная характеристика I-й и II-й Думы. Алфавитный указатель. СПб, 1907, – 124 с. – Из содерж.: [от Пермской губернии].– С. 65–66.
61. Члены Государственной Думы (портреты и биографии): Третий созыв. 1907–1912 гг. – М., 1908. – 456 с.: – Из содерж.: [от Пермской губернии]. – С. 225–235.
62. *Шавро́в К.В.* Нормировка правил дуэли в законе. Статья. «Вестник права» (журнал юридического общества при Императорском Санкт-Петербургском университете); – СПб., Типография Правительствующего Сената, 1892. – № 2. – С. 128–165.
63. *Шилов А.В.* «В целях достойного увековечения в памяти народа…»: Празднование 300-летия Дом Романовых в Перми. // Смышляевский сборник [альманах] исследования и материалы по истории и культуре Перми; Вып. 5, – Пермь, 2013. – С. 86–98.
64. *Ярóма О.В.* Влияние родового сознания на участие в городском общественном управлении (на примере гласных – предпринимателей Пермской городской думы конца XIX-нач. XX вв.) [Электронный ресурс] – URL: http:// diaghilev.perm.ru/confirence/s8/newpage11.htm;
65. *Ярóма О.В.* Опыт городского самоуправления Перми в организации работы муниципальных предприятий (1905–1916 гг.). Сб. статей науч.-практ. конф. «Город Пермь: тенденции и динамика исторического развития»; – Пермь, ИАМЦ «РЕТРОспектива», 2015. – С. 58–62.

EUROPEUS VLADIMIR IVANOVICH (1866-1931) THE FORMER VICE-GOVERNOR OF THE PERM REGION (GUBERNIYA)

V.N. Abroskin, M.G. Redkina

Russian Military Historical Society (RVIO)

For citation:
Abroskin V.N., Redkina M.G. EUROPEUS VLADIMIR IVANOVICH (1866–1931), the former vice-governor of the Perm region (guberniya): a newfound face // Perm Federal Research Center Journal. – 2021. – № 3. – P. 63–79. https://doi.org/10.7242/2658-705X/2021.3.8

The article is devoted to the 155th anniversary of the birth of Perm vice-Governor Vladimir Ivanovich Europeus. In the study, the task was set to find out which of the persons presented in the two photographs under the same surname, really is Europaus. The true image of the Permian vice-governor was established by the method of comparative-exclusive analysis; the reason for the occurrence of this historical error was clarified and analyzed. The study is based on archival and photographic documents, published for the first time, discussion materials, memoirs, opinions of archivists, historians and ethnographers, as well as field work of the authors.

Keywords: Evropeus, zemstvo, vice-governor, Ministry of Internal Affairs, Perm province, repression, rehabilitation.

Сведения об авторах

Аброськин Владимир Николаевич, член Российского военно-исторического общества (РВИО), краевед, советник государственной гражданской службы Российской Федерации 1-го класса; e-mail: avn2perm@gmail.com.

Редькина Марина Георгиевна, член Российского военно-исторического общества (РВИО), режиссёр ТВ; e-mail:. m.redkina2@gmail.com

Материал поступил в редакцию 06.04.2021 г.