

**АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL
JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL
RESEARCH**

Журнал основан в 2007 году
The journal is based in 2007
ISSN 1996-3955

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,564

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,312

№ 7 2022

Научный журнал
Scientific journal

Журнал International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований) зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-60735.

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

The electronic version takes places on a site www.rae.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

к.м.н. Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь

к.м.н. М.Н. Бизенкова

EDITOR

Natalia Stukova

Senior Director and Publisher

Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев А. (Душанбе); к.б.н. Алиева К.Г. (Махачкала); д.х.н., к.ф.-м.н., проф. Алоев В.З. (Чегем-2); д.б.н., проф. Андреева А.В. (Уфа); к.географ.н., доцент Аничкина Н.В. (Липецк); к.ф.-м.н. Барановский Н.В. (Томск); д.б.н., доцент Белых О.А. (Иркутск); д.т.н., проф. Бурмистрова О.Н. (Ухта); д.т.н., доцент Быстров В.А. (Новокузнецк); д.м.н., проф. Гарбуз И.Ф. (Тирасполь); д.ф.-м.н., проф. Геворкян Э.А. (Москва); д.х.н., проф. Гурбанов Г.Р. (Баку); д.ветеринар.н., доцент Ермолина С.А. (Киров); к.т.н. Есенаманова М.С. (Атырау); к.ф.-м.н., д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.м.н. Жураковский И.П. (Новосибирск); д.т.н., доцент Ибраев И.К. (Темиртау); к.т.н., доцент Исмаилов З.И. (Баку); д.б.н., с.н.с. Кавцевич Н.Н. (Североморск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.б.н. Кокорева И.И. (Алматы); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); к.б.н., доцент Коротченко И.С. (Красноярск); к.с.-х.н., доцент Кряжева В.Л. (Нижний Новгород); д.ф.-м.н., доцент Кульков В.Г. (Волжский); д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов); д.б.н., к.с.-х.н., доцент Леонтьев Д.Ф. (Иркутск); д.географ.н., к.б.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., с.н.с. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Несветаев Г.В. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н. Никитин С.Н. (п. Тимирязевский); д.фарм.н., доцент Олешко О.А. (Пермь); д.с.-х.н., с.н.с., проф. Партоев К. (Душанбе); к.п.н., доцент Попова И.Н. (Москва); д.т.н., проф. Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.м.н., с.н.с., доцент Розыходжаева Г.А. (Ташкент); д.г.-м.н. Сакиев К.С. (Бишкек); д.т.н., проф. Сугак Е.В. (Красноярск); д.ветеринар.н., проф. Трефилов Б.Б. (Санкт-Петербург); д.м.н., проф. Чарышкин А.Л. (Ульяновск); д.географ.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек); к.х.н. Шарифуллина Л.Р. (Москва); д.п.н., проф. Щирин Д.В. (Санкт-Петербург)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

Журнал представлен в НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ (НЭБ) –
головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного
цитирования (ИФ РИНЦ).

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,564.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,312.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 410056, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Е.Н. Доронкина

Корректор Е.С. Галенкина, Н.А. Дудкина

Подписано в печать – 29.07.2022

Дата выхода номера – 31.08.2022

Формат 60х90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 11,75

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2022/7

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬЯ

- ВЛИЯНИЕ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ
И ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА СТУДЕНТОВ
НА РЯД ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ФИЗИЧЕСКОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ
Аюпова А.Р., Исаева Е.Е., Каюмова А.Ф., Шамратова В.Г. 7

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ РЕК
ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА
Атабиева Ф.А., Вишневецкая Е.В. 13
- ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ ТИМПТОН
ПРИ ВОЗМОЖНОМ ЗАРЕГУЛИРОВАНИИ ЕЕ СТОКА
Николаева Н.А., Копырина Л.И. 17

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- ОЦЕНКА ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА ПРИ АМЕНОРЕЕ,
НАРУШЕНИИ МЕНСТРУАЛЬНОГО ЦИКЛА И ГИРСУТИЗМЕ
У ДЕВОЧЕК ПУБЕРТАТНОГО ПЕРИОДА
Исаева Л.М., Магдиева Н.М., Адиева А.А., Меджидова М.Г. 22
- ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ КОЖНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ
ПРИ COVID-19
Кузьмина Т.С. 27
- АЛЬФА-СТРОБИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ В ПЕРВИЧНЫХ
СЕНСОРНЫХ ЗОНАХ КОРЫ МОЗГА
Коёкина О.И. 33

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

- ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА
РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ МАЛЫХ ТОЛЩИН
Арутюнов Ю.А., Белев В.В., Меликов Е.Р., Цыбин А.Н., Чащин Е.А. 40
- СИНТЕЗ КАРБИДОВ И ОКСИКАРБИДОВ ТИТАНА
В АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА
Гумовская А.А., Поваляев П.В., Калтаев А.Ж., Ларионов К.Б. 46

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ
СТАТЬИ

- УСКОРЕННЫЙ СИНТЕЗ TL (VI) ВТСП-МАССИВНЫХ
ОБРАЗЦОВ КЕРАМИКИ С РЕКОРДНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ
И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ
Алтухов В.И., Вигаев В.П., Саввин В.С., Санкин А.В. 51
- РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ С ОПЕРАТОРОМ
ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ТИПА, ГДЕ ВЫРОЖДАЕТСЯ
НЕКОРРЕКТНОЕ УРАВНЕНИЕ ВОЛЬТЕРРА ПЕРВОГО РОДА
Алыбаев А.М. 57

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ
СТАТЬИ

- РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ НЕФТЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
Гулиева Н.К., Мустафаев И.И., Набизаде З.О., Чичек Ф.А. 72
- ГИДРОЛИЗ ЖЕЛЕЗА И ОБРАЗОВАНИЕ СМЕШАННОЛИГАНДНЫХ
ГУМАТ-ГИДРОКСОКОМПЛЕКСОВ В ВОДЕ
Жаркынбаева Р.А., Худайбергенова Э.М., Жоробекова Ш.Ж. 78
- АНТИРАДИКАЛЬНОЕ И МЕМБРАНОТРОПНОЕ ДЕЙСТВИЯ
КВЕРЦЕТИНА И ЕГО КОМПЛЕКСА С АЛЮМИНИЕМ
Махмудов Б.Б., Абдрасилов Б.С., Ким Ю.А. 83

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ
СТАТЬЯ

- ОБЪЕДИНЕНИЕ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПО СПОСОБАМ И ФОРМАМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
Лехтянская Л.В. 89

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLE

INFLUENCE OF HEREDITARY PREDISPOSITION
AND PSYCHOLOGICAL STATUS OF STUDENTS
ON A NUMBER OF PARAMETERS OF CARDIOVASCULAR
ACTIVITY AND PHYSICAL ENDURANCE

Ayupova A.R., Isaeva E.E., Kayumova A.F., Shamratova V.G. 7

GEOGRAPHICAL SCIENCES

ARTICLES

VARIABILITY OF MINERALIZATION OF THE RIVERS
OF THE CENTRAL CAUCASUS

Atabieva F.A., Vishnevetskaya E.V. 13

FORECAST OF WATER QUALITY TIMPTON RIVER
WITH POSSIBLE REGULATION OF ITS FLOW

Nikolaeva N.A., Kopyrina L.I. 17

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

DETERMINATION OF HORMONAL STATUS IN AMENORRHEA,
DEVIATION OF THE MENSIS AND HIRSUTISM IN PUBERTY GIRLS

Isaeva L.M., Magdieva N.M., Adieva A.A., Medzhidova M.G. 22

PATHOGENETIC MECHANISMS OF SKIN MANIFESTATIONS
IN COVID-19

Kuzmina T.S. 27

ALPHA STROBING OF SIGNALS IN THE PRIMARY SENSORY AREAS
OF THE CEREBRAL CORTEX

Koekina O.I. 33

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

INCREASING THE STABILITY AND STABILITY OF THE PROCESS
OF MANUAL ARC WELDING OF METALS OF SMALL THICKNESSES

Arutyunov Yu.A., Belev V.V., Melikov E.R., Tsybin A.N., Chashchin E.A. 40

SYNTHESIS OF TITANIUM CARBIDES AND OXYCARBIDES
IN ATMOSPHERIC ARC PLASMA USING ORGANIC CARBON SOURCES

Gumovskaya A.A., Povalyaev P.V., Kaltaev A.Zh., Larionov K.B. 46

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES
ARTICLES

- ACCELERATED SYNTHESIS OF TL (BI) HTS-MASSIVE CERAMIC SAMPLES
WITH RECORD PARAMETERS AND THEIR PRACTICAL APPLICATION
Altukhov V.I., Vigaev V.P., Savvin V.S., Sankin A.V. 51
- REGULARIZATION OF THE INVERSE PROBLEM WITH A HYPERBOLIC
TYPE OPERATOR, WHERE THE INCORRECT VOLTERRA EQUATION
OF THE FIRST KIND DEGENERATES
Alybaev A.M. 57

CHEMICAL SCIENCES
ARTICLES

- RADIATION-CHEMICAL TRANSFORMATIONS OF OIL DEPOSITS
Gulieva N.K., Mustafaev I.I., Nabizade Z.O., Chichek F.A. 72
- HYDROLYSIS OF IRON AND THE FORMATION OF MIXED
LIGAND HUMAT- HYDROXO COMPLEXES IN WATER
Jarkynbaeva R.A., Khudaibergenova E.M., Jorobekova Sh.J. 78
- ANTIRADICAL AND MEMBRANOTROPIC ACTIONS
OF QUERCETIN AND ITS COMPLEX WITH ALUMINUM
Makhmutov B.B., Abdrasilov B.S., Kim Yu.A. 83

ECONOMIC SCIENCES
ARTICLE

- ASSOCIATION OF RESOURCES OF ENTERPRISES
BY METHODS AND FORMS OF ACTIVITY
Lekhtyanskaya L.V. 89

СТАТЬЯ

УДК 612.176.4

**ВЛИЯНИЕ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ
И ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА СТУДЕНТОВ
НА РЯД ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
И ФИЗИЧЕСКОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ**

Аюпова А.Р., Исаева Е.Е., Каюмова А.Ф., Шамратова В.Г.

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет», Уфа,

e-mail: gamma151095@gmail.com, agent373@mail.ru, annikachka@live.ru, shamratovav@mail.ru

Характер адаптационных изменений, обеспечивающих способность человека переносить физические нагрузки, определяется, как известно, наследственной предрасположенностью и средовыми факторами. Информативным генетическим маркером считается инсерционно-делеционный полиморфизм гена *ACE*, так как установлены ассоциации аллеля I гена *ACE* с высокими значениями максимального потребления кислорода и гемодинамическими параметрами. С другой стороны, адаптационные перестройки в условиях напряженной деятельности зависят от эмоциональной устойчивости организма. В работе представлены данные о раздельном и сочетанном влиянии наследственного и психоэмоционального факторов на параметры резервных возможностей сердечно-сосудистой системы (ССС) и физической выносливости здоровых студентов. У обследованных юношей (n = 165) и девушек (n = 141) 19–22-летнего возраста определяли показатели деятельности СССР (индекс Робинсона, коэффициент выносливости, коэффициент экономичности кровообращения, вегетативный индекс Кердо), уровень физического состояния и кардиореспираторный индекс в модификации Самко (КРИС). КРИС определяли в адинамической и динамической фазах (после выполнения дозированной физической нагрузки), а также рассчитывали КРИС %, характеризующий толерантность к физической нагрузке. Психоэмоциональный статус испытуемых оценивали по психологическим тестам. Установлено, что генотип II полиморфного варианта гена *ACE* ассоциируется с высоким уровнем обменных процессов в миокарде, о чем свидетельствуют наиболее низкие значения индекса Робинсона у лиц с генотипом II, высокий уровень физического состояния и низкая величина КРИС %. В то же время у юношей с генотипом II I/D полиморфизма гена *ACE* повышенная эмоциональная реакция негативно отражается на состоянии миокарда, а также вызывает снижение физической выносливости при высоком и при умеренном уровне РТ.

Ключевые слова: I/D полиморфизм гена *ACE*, физическая выносливость, сердечно-сосудистая система, кардиореспираторный индекс, вегетативная нервная система

**INFLUENCE OF HEREDITARY PREDISPOSITION
AND PSYCHOLOGICAL STATUS OF STUDENTS ON A NUMBER
OF PARAMETERS OF CARDIOVASCULAR ACTIVITY
AND PHYSICAL ENDURANCE**

Ayupova A.R., Isaeva E.E., Kayumova A.F., Shamratova V.G.

Bashkir State Medical University, Ufa, e-mail: gamma151095@gmail.com, agent373@mail.ru,

annikachka@live.ru, shamratovav@mail.ru

The nature of adaptive changes that ensure a person's ability to endure physical activity depends, as you know, on hereditary predisposition and environmental factors. An insertion-deletion polymorphism of the *ACE* gene is considered to be an informative genetic marker, since associations of the *ACE* gene allele I with high values of maximum oxygen consumption and hemodynamic parameters have been established. On the other hand, adaptive restructuring in conditions of intense activity depends on the emotional stability of the organism. The paper presents data on the separate and combined influence of hereditary and psycho-emotional factors on the parameters of the reserve capacity of the cardiovascular systems (CVS) and physical endurance of healthy students. In the surveyed boys (n = 165) and girls (n = 141) aged 19–22 years, indicators of CVC activity were determined (Robinson index, endurance coefficient, circulatory efficiency coefficient, Kerdo vegetative index), the level of physical condition and cardiorespiratory index in Samko's modification (CRIS). CRIS was determined in the adynamic and dynamic phases (after performing dosed physical activity), and CRIS %, which characterizes exercise tolerance, was calculated. The psycho-emotional status of the subjects was assessed by psychological tests. It has been established that genotype II of the polymorphic variant of the *ACE* gene is associated with a high level of metabolic processes in the myocardium, as evidenced by the lowest values of the Robinson Index in individuals with genotype II, a high level of physical condition and a low CRIS. At the same time, in young men with genotype II I/D polymorphism of the *ACE* gene, an increased emotional reaction negatively affects the state of the myocardium, and also causes a decrease in physical endurance at high and moderate levels of reactive anxiety.

Keywords: I/D polymorphism of the *ACE* gene, physical endurance, cardiovascular system, cardio-respiratory index, autonomic nervous system

Индивидуальные различия в степени и характере адаптационных изменений, обеспечивающих способность человека переносить физические нагрузки, опреде-

ляются, с одной стороны, наследственной предрасположенностью к мышечной деятельности [1, с. 286], с другой, влиянием средовых факторов. К числу генетических

маркеров, контролирующих формирование и проявление физических возможностей человека, относят, в частности, ген ангиотензин-превращающего фермента (*ACE*, ответственен за образование ангиотензина – II [2, с. 45]. Наиболее информативным с этой точки зрения считается инсерционно-делеционный полиморфизм гена *ACE*, связанный с делецией (D) или инсерцией (I) Alu повтора размером 287 п.н. в 16 интроне [3, с. 26]. Так, при интенсификации физических нагрузок выявлена ассоциация аллеля I гена *ACE* с параметрами внешнего дыхания и гемодинамического состояния [4, с. 39].

К факторам, обусловленным образом жизни, относится эмоциональная устойчивость организма, от которой зависит пластичность функциональных систем и их адаптационная перестройка в условиях напряженной деятельности. На психоэмоциональное состояние организма влияют как массовые экстремальные ситуации, социально-политические и экономические преобразования, так и вполне обыденные явления на фоне повседневной деятельности. У студентов, например, к расстройствам адаптации могут привести напряженный режим учебы, необходимость усвоения большого притока получаемой информации, психоэмоциональные перегрузки и др.

С учетом сказанного представляет интерес изучение влияния на резервные возможности сердечно-сосудистой системы и физическую выносливость организма наследственного фактора в сочетании с психоэмоциональным статусом студентов.

Целью настоящей работы явилось изучение некоторых показателей деятельности сердечно-сосудистой системы и физической выносливости у носителей разных генотипов I/D полиморфизма гена *ACE* в зависимости от психоэмоционального состояния юношей и девушек.

Материалы и методы исследования

Обследованы юноши ($n = 165$) и девушки ($n = 141$) 19–22-летнего возраста, признанные здоровыми согласно результатам ежегодного диспансерного осмотра (не имели определенных клинических проявлений

сердечно-сосудистых, острых респираторных и хронических заболеваний). Студенты подтвердили свое добровольное согласие на участие в эксперименте.

Выделение ДНК проводили с помощью набора реагентов «РеалБест Экстракция 100» (ЗАО «Вектор-Бест», Новосибирск) из суспензии клеток буккального эпителия в транспортном растворе. Амплификацию и плавление ее продуктов проводили на амплификаторе с флуоресцентной детекцией в режиме реального времени CFX96 Touch Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, США). Амплификация была проведена с помощью набора реагентов для определения генетических полиморфизмов Del287 гена *ACE* методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени с детекцией кривых плавления.

У всех испытуемых измеряли систолическое и диастолическое артериальное давление (САД, ДАД, мм рт. ст.), частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), максимальное давление выдоха (МДВ, мм рт. ст.), жизненную емкость легких (ЖЕЛ, л), максимальную задержку дыхания (МЗД, с). В соответствии с полученными данными производили расчет показателей, характеризующих функциональные возможности сердечно-сосудистой системы (ССС): коэффициент выносливости (КВ), индекс Робинсона (ИР), коэффициент экономичности кровообращения (КЭК), вегетативный индекс Кердо (ВИК).

Уровень физического состояния (УФС) – у здоровых юношей со средним уровнем физического состояния показатель варьирует в диапазоне 0,526–0,675, для девушек 0,366–0,475 усл. ед. Оценку физической выносливости производили посредством расчета кардиореспираторного индекса – КРИС (в модификации М. Самко). В адинамической фазе (КРИС ад.), которая соответствует 10-минутному отдыху, и в динамической фазе (КРИС д.) – после выполнения дозированной физической нагрузки на велотренажере в течение 5 мин со средней скоростью 20 км/ч (при дистанции 1600 м).

Формула для расчета кардиореспираторного индекса:

$$\text{КРИС} = (\text{ЖЕЛ} + \text{МДВ} + \text{МЗД} \cdot \text{В}) / (\text{САД} + \text{ДАД} + \text{ЧСС}).$$

У спортсменов величина КРИС ад. составляет от 1,00 и выше; у нетренированных, но здоровых людей средний уровень колеблется от 0,80 до 0,90, низкий уровень составляет 0,70–0,60. У людей с различными расстройствами ССС и дыхательной системы – ниже 0,50.

Толерантность к физической нагрузке оценивалась с помощью определения процента снижения индекса (КРИС %) после выполняемой нагрузки, который рассчитывался по формуле:

$$\text{КРИС \%} = ((\text{КРИС ад.} - \text{КРИС д.}) \times 100 \%) / \text{КРИС ад.}$$

У хорошо тренированных людей наблюдалось уменьшение величины КРИС до 15% исходной величины, у нетренированных, но практически здоровых людей – на 16–30%, а у людей с различными сердечно-сосудистыми и дыхательными расстройствами – на 31–65%.

Для оценки психоэмоционального состояния использовался опросник реактивной тревоги (РТ) и личностной тревожности (ЛТ) Спилберга – Ханина, оценивающий личностную тревожность как устойчивую характеристику человека и реактивную тревогу как уровень тревожности в данный момент.

Статистическую обработку результатов осуществляли посредством программного обеспечения Statistica 10.0. Для изучения влияния наследственного фактора, уровня тревожности и пола использовался трехфакторный дисперсионный анализ с градациями: полиморфные варианты гена *ACE* – I/I, I/D, D/D; уровень личностной и реактивной тревоги – низкий, средний, высокий; пола – мужской, женский.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам трехфакторного дисперсионного анализа было выявлено достоверное как раздельное влияние генетического фактора, уровня тревожности и пола, так и их сочетания на ряд показателей деятельности ССС и физической выносливости организма (таблица).

В ходе исследования (таблица) установлено раздельное влияние генетического фактора на ИР, УФС, КРИС%; психологического состояния – на ВИК; пола – на КВ, ВИК, КРИС ад. Ранее нами было показано влияние пола на фенотипические признаки, которые контролируются I/D полиморфизмом гена *ACE* [5]. Совместное влияние наследственной предрасположенности

сказывалось на ВИК и КРИС%, I/D полиморфизма гена *ACE* и пола – на ВИК, пола и психологического состояния – КРИС ад. Одновременно три учтенных фактора действовали на ИР и КРИС ад. Более детальная картина была получена при сравнении средних величин показателей. Так, показано, что ИР и УФС существенно различались у носителей разных генотипов I/D полиморфизма гена *ACE* (рис. 1). Согласно полученным данным (рис.1, а), лица, являющиеся носителями генотипа DD, имели наиболее высокие значения индекса Робинсона (в среднем 95 у.е.), свидетельствующие о пониженном уровне потребления кислорода миокардом. При этом лица с генотипом II отличались самым низким уровнем данного показателя (в среднем 80 у.е.), что говорило о более активном уровне энергетического метаболизма. Обладатели гетерозиготного генотипа занимали по этому признаку промежуточное положение. Сравнение среднegrupповых величин УФС (рис. 1, б) выявило у юношей – носителей генотипа II более высокие значения по сравнению с носителями генотипа DD. Низкие величины УФС при генотипе DD совпадали с ухудшением энергообеспечения миокарда у носителей этого генотипа.

Состояние и резервы ССС сказываются на физической выносливости, что нами было продемонстрировано при анализе КРИС: значимое влияние генетического фактора было обнаружено в отношении толерантности к физической нагрузке. У носителей генотипа II КРИС% в среднем составляло 12%, что было значимо ниже, чем при генотипе DD (23%), свидетельствуя о более высокой толерантности к физической нагрузке у обладателей II варианта I/D полиморфизма гена. Гетерозиготный генотип по этому параметру (18%) значимо не отличался от носителей генотипа II и DD.

Влияние генотипа, уровня тревожности, пола и сочетания этих факторов на показатели ССС и физической выносливости

Параметры	ACE	ЛТ по Спилбергу – Ханину	Пол	ACE*РТ	Пол*ACE	Пол*РТ	Пол*ACE*РТ
ИР	$p \leq 0,01$						$p \leq 0,01$
КВ			$p \leq 0,01$				
КЭК	$p \leq 0,01$						
ВИК		$p \leq 0,01$	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,01$	$p \leq 0,01$		
УФС	$p \leq 0,01^*$						
КРИС ад.			$p \leq 0,01$			$p \leq 0,01$	$p \leq 0,01$
КРИС дин.							
КРИС %	$p \leq 0,01$			$p \leq 0,01$			

Примечание. Отмечены только достоверные влияния ($p < 0,05$).

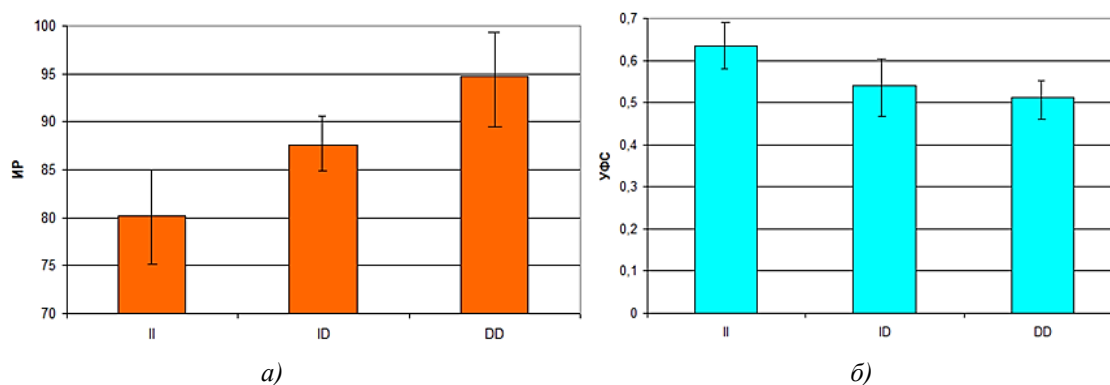


Рис. 1. Значение параметров у обследуемых с I/D полиморфными вариантами гена ACE:
а) индекс Робинсона ; б) уровень физического состояния

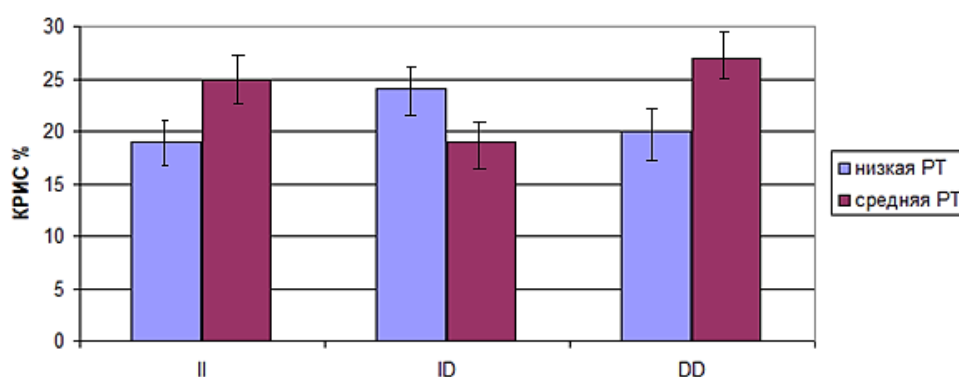


Рис. 2. Средние величины КРИС% у студентов с I/D полиморфными вариантами гена ACE при разном уровне реактивной тревожности

Что касается влияния психологического статуса, то здесь обнаружилось достоверное влияние на ВИК. Личностная тревожность (ЛТ), являющаяся устойчивой индивидуальной характеристикой личности, имела повышенные значения у студентов с преобладанием ваготонии.

Совместное влияние наследственного фактора и психологического статуса (РТ) обнаружено по отношению к КРИС%. Уровень реактивной тревожности не влияет на толерантность к физической нагрузке при гетерозиготном генотипе ACE, тогда как при гомозиготных вариантах II и DD возрастание РТ обуславливало снижение выносливости ССС по отношению к физической нагрузке (рис. 2).

Кроме того, генетический фактор сочетанно с психологическим статусом (уровень РТ) влиял на величину ВИК. При низкой и умеренной тревожности генотип практически не влиял на тонус вегетативной нервной системы. В то же время при высоком уровне тревожности у обла-

дателей генотипа DD наблюдалось усиление симпатических влияний, а у лиц с гетерозиготным вариантом происходил резкий сдвиг в сторону ваготонии. Причем лицам с генотипом II был свойственен в большей степени, чем обладателям аллели D, сбалансированный механизм регуляции тонуса ВИК.

Сочетанное влияние трех изученных факторов – I/D полиморфизма гена ACE, реактивной тревожности и пола – продемонстрировано для двух показателей: индекса Робинсона и Крис ад. Наличие гендерных особенностей влияния учтенных факторов на ИР показано на рис. 3. У юношей – носителей генотипа II отчетливо проявлялась роль психологического состояния, в то время как у девушек генотипических различий при разном психоэмоциональном статусе не было выявлено.

Представленные данные подтверждают сравнение средних групповых значений ИР у носителей разных генотипов у юношей и девушек (рис. 4).

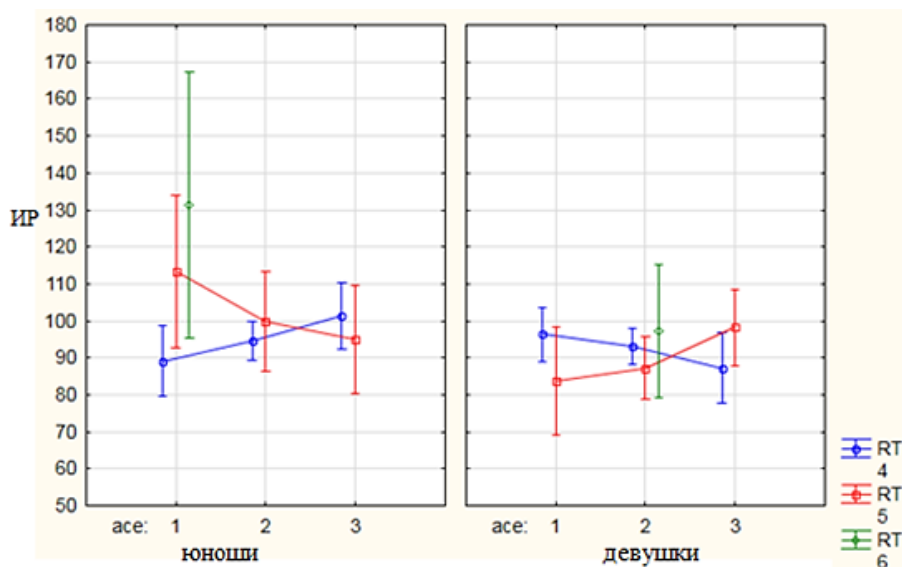


Рис. 3. Совместное влияние пола, гена ACE (1 – II, 2 – ID, 3 – DD) и реактивной тревожности (4 – низкая, 5 – средняя, 6 – высокая) на индекс Робинсона

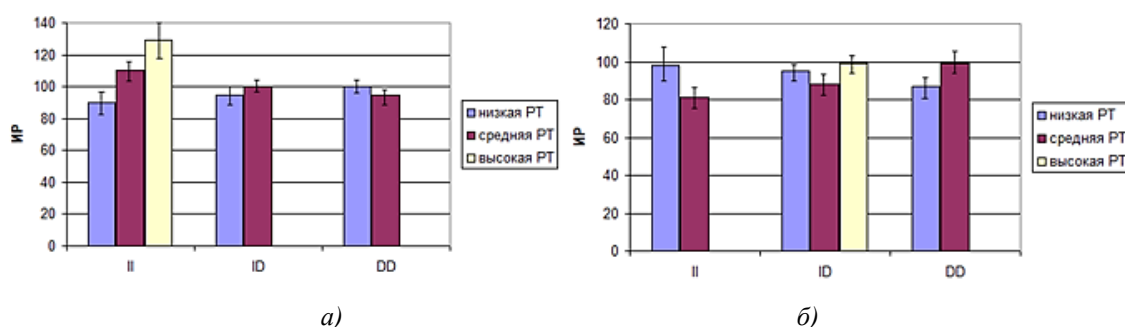


Рис. 4. Величины индекса Робинсона при генотипах I/D полиморфизма гена ACE: а) у юношей; б) у девушек

У юношей при генотипе II низкий уровень тревожности соответствует более низкому значению ИР, что характеризовало высокую активность метаболических процессов в организме. Высокий уровень РТ сочетался, наоборот, с высокими величинами ИР. У девушек генотипические особенности варьирования ИР в зависимости от психологического статуса были выражены слабее.

При анализе совместного влияния I/D полиморфизма гена ACE, РТ и пола на КРИС ад. установлено, что вклад генотипа в варьирование КРИС ад. как у юношей, так и у девушек проявлялся только при низком и среднем уровнях тревожности. В наибольшей степени эмоциональное состояние влияло на физическую выносливость юношей при генотипе II.

Заключение

С помощью дисперсионного анализа и путем сравнения средних величин показателей установлено, что генотип II полиморфного варианта гена ACE ассоциируется с более высоким уровнем обменных процессов в миокарде (ИР), физического состояния (УФС) и толерантности к физическим нагрузкам (КРИС%). Известно, что продукт гена ACE является ключевым звеном в процессах вазоконстрикции и вазодилатации. Неоднократно высказывалось предположение, что у спортсменов – носителей аллеля I при генотипе II пониженный синтез ангиотензина II в стенках сосудов позволял более эффективно выполнять физические упражнения благодаря лучшему снабжению тканей и органов кислородом [6, с. 189]. Определение параметров КРИС,

характеризующих как физическую выносливость, так и толерантность к физическим нагрузкам действительно подтверждает более высокие физические возможности у носителей генотипа II не только у спортсменов, но и у лиц, профессионально не занимающихся спортом.

Участие средовых факторов в обеспечении адаптационных изменений при физических нагрузках было изучено нами на примере психоэмоционального статуса студентов. Выяснилось, что взаимодействие психологического состояния и наследственного фактора в наибольшей степени проявлялось у носителей генотипа II. Причем имеют место гендерные особенности. В ходе эксперимента установлено, что возрастание уровня РТ у носителей генотипа II резко ухудшает энергообеспечение миокарда, о чем свидетельствовало существенное повышение величины ИР. При этом анализ ассоциации с КРИС ад. и полиморфизма гена *ACE* при генотипе II у юношей продемонстрировал снижение физической выносливости не только при высоком, но и при умеренном уровне РТ.

Проведенное исследование показало, что при высокой значимости генетического фактора психологическая неустойчивость

может внести существенный вклад в состояние адаптационных механизмов и физическую выносливость организма.

Список литературы

1. Papadimitriou L.D. ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study. *BMC Genomics*. 2016. Vol. 17. P. 285–293.
2. Ahmetov I.I., Egorova E.S., Gabdrakhmanova L.J., Fedotovskaya O.N. Genes and Athletic Performance: An Update. *Genetics and Sports*. 2016. Vol. 61. P. 41–54.
3. Rigat B. PCR detection of the insertion/deletion polymorphism of the human ACE gene (DCP1). *Nucl. Acids Res.* 1990. No. 20. P. 14–33.
4. Илютич А.В., Иванова Н.В., Рубчова И.Н., Гилеп И.Л., Шераш Н.В. Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы высококвалифицированных конькобежцев в зависимости от полиморфизма генов *BDKRB2*, *ACE*, *NOS3* // *Вестник ВДУ*. 2014. № 3 (81). С. 35–41.
5. Аюпова А.Р., Шамратова В.Г., Исаева Е.Е. Гендерные особенности фенотипического проявления I/D полиморфизма гена АПФ (на примере показателей сердечно-сосудистой системы и физической выносливости) // *Современные проблемы науки и образования*. 2018. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27850> (дата обращения: 29.06.2022).
6. Леконцев Е.В., Гумерова О.В., Воробьева Е.В. Ассоциация полиморфизма в гене *ACE* и уровня максимального потребления кислорода у человека: материалы девятой Всероссийской медико-биологической конференции молодых исследователей «Человек и его здоровье». СПб., 2006. С. 188–189.

СТАТЬИ

УДК 556

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

Атабиева Ф.А., Вишневецкая Е.В.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: atabieva0812@mail.ru

В статье рассматривается изменчивость минерализации воды рек Центрального Кавказа (Малка, Баксан, Черек, Урух, Терек, Чегем) в среднем и нижнем течении. Высота водосборов в среднем течении составляет около 700 м над уровнем моря, а в нижнем течении 200 м. Исследований по изучению минерализации воды рек Центрального Кавказа (Терек, Урух, Малка, Баксан, Черек и Чегем) за многолетний период практически не проводилось. В литературе имеются только данные, полученные сотрудниками Высокогорного государственного заповедника. Ими изучалась минерализация воды рек Черек и Чегем в верхнем течении. В данной статье представлены значения минерализации, полученные в среднем и нижнем течении рек, в марте и июле, в месяцы наименьшей и наибольшей водности рек. Измерения минерализации проводились в 2021 г., в периоды зимней межени, во время половодья (на подъеме, пике, в начале и конце спада половодья), при прохождении дождевого паводка и осенью с использованием портативного кондуктометра HANNA (HI 991300). Максимальное значение минерализации зафиксировано в воде р. Черек в зимнюю межень (428 мг/дм³), а минимальное значение наблюдается в воде р. Урух в летнее половодье (74 мг/дм³). Знание минерализации воды рек имеет определенное значение для понимания геохимических процессов, происходящих на водосборах рек (зная минерализацию, можно определить интенсивность миграции микроэлементов; имея значения расходов воды, можно определить ионный сток рек).

Ключевые слова: реки Центрального Кавказа, высотная зональность, минерализация, рельеф, водный режим

VARIABILITY OF MINERALIZATION OF THE RIVERS OF THE CENTRAL CAUCASUS

Atabieva F.A., Vishnevetskaya E.V.

Federal State Budgetary Institution "Highland Geophysical Institute", Nalchik,
e-mail: atabieva0812@mail.ru

The article examines the variability of the mineralization of the water of the rivers of the Central Caucasus (Malka, Baksan, Cherek, Uruk, Terek, Chegem), in the middle and lower reaches. The height of the catchments in the middle reaches is about 700 m above sea level, and in the lower reaches 200 m. There have been practically no studies on the mineralization of the water of the rivers of the Central Caucasus (Terek, Uruk, Malka, Baksan, Cherek and Chegem) over a long period of time. In the literature there are only data obtained by employees of the Highland State Reserve. They studied the mineralization of the water of the rivers Cherek and Chegem in the upper reaches. This article presents the mineralization values obtained in the middle and lower reaches of rivers, in March and July, in the months of the lowest and greatest water content of rivers. Mineralization measurements were carried out in 2021 during periods of winter autumn, during high water (at the rise, peak, at the beginning and end of the flood recession), during the passage of a rain flood and in autumn using a portable HANNA conductometer (HI 991300). The maximum value of mineralization was recorded in the water of the Cherek river in winter (428mg/dm³), and the minimum value is observed in the water of the Uruk river in summer flood (74mg/dm³). Knowledge of the mineralization of river water is of some importance for understanding the geochemical processes occurring in river catchments (knowing the mineralization, it is possible to determine the intensity of migration of trace elements; having the values of water flow, it is possible to determine the ionic flow of rivers).

Keywords: rivers of the Central Caucasus, altitude zonality, mineralization, relief, water regime

Минерализация воды (особенно высокогорных рек) интересна тем, что отражает в основном результат взаимодействия воды с береговыми подстилающими, а также почвообразующими минералами и породами.

Исследований по изучению минерализации воды рек Центрального Кавказа (Терек, Урух, Малка, Баксан, Черек и Чегем) за многолетний период практически не проводилось. В 2005–2018 гг. сотрудниками Высокогорного государственного заповедника изучалась минерализация воды рек Черек в верхнем течении [1].

В данной статье представлена предварительная оценка минерализации воды рек

Центрального Кавказа (Терек, Баксан, Малка, Черек, Чегем, Урух) в их среднем и нижнем течении. Данные получены в ходе полевых исследований, проведенных в 2021 г.

Формирование стока изучаемых рек происходит преимущественно в высокогорной зоне, характеризующейся развитием оледенения, большим количеством осадков и малым испарением [2, 3]. Одна и та же река по мере изменения своего направления по отношению к хребтам или при прохождении в различных рельефных и геологических условиях может иметь участки, характерные для равнинной, предгорной или горной реки. Характерный пример – названные выше реки.

Таблица 1

Перечень пунктов наблюдения, 2021 г.

Водный объект	Расстояние от истока, км	Пункт отбора	Координаты с.ш. в.д.
1	2	3	4
Р. Малка	100	С. Малка	43,755258 43,232588
	190	Г. Прохладный	43,754585 44,099435
Р. Баксан	100	С. Исламей	43,671653 43,536576
	169	Г. Прохладный	43,719996 44,052337
Р. Чегем	70	С. Лечинкай	43,559249 43,445579
	87	Г. Чегем-2	43,576162 43,586777
Р. Черек	54	П.г.т. Кашхатау	43,326554 43,631683
	112	П. Октябрьский	43,670529 44,041022
Р. Урух	76	С. Урух	43,322695 44,026322
	105	Ст. Александровская	43,496583 44,065382
Р. Терек	151	С. Эльхотово	43,315228 44,225566
	230	С. Хамидие	43,680222 44,369038

Цель исследования – анализ минерализации рек Центрального Кавказа (Терек, Урух, Малка, Баксан, Черек и Чегем) в основные фазы водного режима в среднем и нижнем течении рек.

Материалы и методы исследования

Измерения минерализации проводили в воде рек Терек, Урух, Малка, Баксан, Черек и Чегем. В Терек впадают реки Малка (Балык-Су), Урух в 409 км, 453 км от устья по левому берегу соответственно. Река Баксан (Азау) впадает в Малку в 26 км от устья по правому берегу. Реки Черек, Чегем-первый (Чегем, Башиль-Аузу-Су) впадают в р. Баксан в 6,1 км и 33 км от устья по правому берегу [4].

В изучаемых реках наибольшая водность наблюдается в июле-августе, наименьшая – в феврале-марте.

Данные получены при проведении полевых работ в бассейне р. Терек в 2021 г. Измерения минерализации проводились в периоды зимней межени во время половодья (на подъеме, пике, в начале и конце спада половодья), при прохождении дождевого паводка и осенью с использованием портативного кондуктометра HANNA (HI 991300). В статье приводим значения минерализации, полученные в марте и июле, в месяцы наименьшей и наибольшей водности рек. Постоянные пункты отбора проб воды расположены в предгорной и равнинной части (среднее и нижнее течение) рек (табл. 1). При отборе проб воды фиксировались температура воз-

духа, воды, прозрачность, водородный показатель и минерализация. В 2021 г., как обычно, наибольшие расходы воды фиксировали в основном в период летнего половодья, наименьшие – в период зимней межени. Осадков в зимний период 2021 г. было мало, снежный покров по территории был распределен неравномерно, нормально распределен только в горах. В основном погода была ясная, солнечная. В период отбора проб воды в зимнюю межень температура воды рек варьировала от +7,1 °С до +15,5 °С. В летний период температура воды рек изменялась от +10,0 °С до +28,7 °С. Высота водосборов в среднем течении составляет 700 м над уровнем моря, в нижнем течении – 200 м.

Результаты исследования и их обсуждение

Минерализация воды – суммарная концентрация анионов, катионов и недиссоциированных растворенных в воде неорганических веществ, выражающаяся в г/дм³.

По величине минерализации пресной водой считается вода, имеющая общее солесодержание или минерализацию не более 100 мг/дм³. Среди пресных вод в зависимости от величины солесодержания (в мг/дм³) выделяют воды ультрапресные (менее 100), маломинерализованные (100–200), среднеминерализованные (200–500) и повышенной минерализации (500–1000). При величине солесодержания от 1 до 25 г/дм³ воду считают солоноватой [5].

Таблица 2

Значение основных показателей качества воды рек

Основные фазы водного режима	Среднее течение, М, мг/дм ³	Нижнее течение М, мг/дм ³	Среднее течение, рН	Нижнее течение, рН
р. Малка				
Март	381	332	8,63	8,36
Июль	189	115	7,87	7,77
р. Терек				
Март	247	255	8,25	8,26
Июль	186	145	7,62	7,63
р. Баксан				
Март	347	332	8,69	8,40
Июль	101	116	7,89	7,81
р. Урух				
Март	149	200	8,59	8,64
Июль	74	157	7,96	7,76
р. Чегем				
Март	196	202	8,51	8,68
Июль	87	84	8,08	8,14
р. Черек				
Март	428	351	8,52	8,29
Июль	97	125	8,18	7,68

Примечание. М – минерализация воды; рН – водородный показатель водной среды.

Согласно указанной классификации вода исследуемых рек в марте относится к классу среднеминерализованных (табл. 2), а в июле – к классу маломинерализованных. При переходе рек на грунтовое питание резко возрастает минерализация, как в среднем, так и в нижнем течении (149–428 мг/дм³ и 200–351 мг/дм³ соответственно). В летнее половодье вода рек разбавляется талыми ледниковыми водами, и минерализация рек значительно снижается. Например, в среднем течении р. Черек в зимнюю межень минерализация составляет 428 мг/дм³, в летнее половодье 97 мг/дм³; в нижнем течении в зимнюю межень минерализация 351 мг/дм³, в летнее половодье 125 мг/дм³. Как видно из табл. 2, в среднем течении максимальное значение минерализации зафиксировано в воде р. Черек в зимнюю межень (428 мг/дм³), в нижнем течении максимальное значение минерализации наблюдается также в воде р. Черек (351 мг/дм³) в зимнюю межень (рис. 1). Минимальные значения в летнее половодье в среднем течении наблюдаются в воде р. Урух (74 мг/дм³), а в нижнем течении – в воде р. Чегем (84 мг/дм³).

По значениям минерализации воды в среднем течении рек можно составить следующие ряды:

Черек (428) > Малка (381) > Баксан (347) > Терек (247) > Чегем (196) > Урух (149) – зимняя межень.

Малка (189) > Терек (186) > Баксан (101) > Черек (97) > Чегем (87) > Урух (74) – летнее половодье.

В нижнем течении рек наблюдаются следующие ряды:

Черек (351) > Баксан (337) > Малка (332) > Терек (255) > Чегем (202) > Урух (200) – зимняя межень;

Урух (157) > Терек (145) > Черек (125) > Баксан (116) > Малка (115) > Чегем (84) – летнее половодье.

Как видно из составленных рядов и рис. 1, 2, диапазон изменчивости минерализации воды рек в среднем и нижнем течении составляет 74–428 и 84–351 мг/дм³ соответственно, т.е. изменчивость минерализации в среднем течении выше.

Возможно, в среднем течении на минерализацию оказывают влияние в летний период склоновые процессы. Как видно из полученных данных, река Малка, впадающая в реку Терек в среднем течении, оказывает значительное влияние на изменение величины её минерализации в летнее половодье. Таким образом, каждая река характеризуется присущей ей минерализацией.

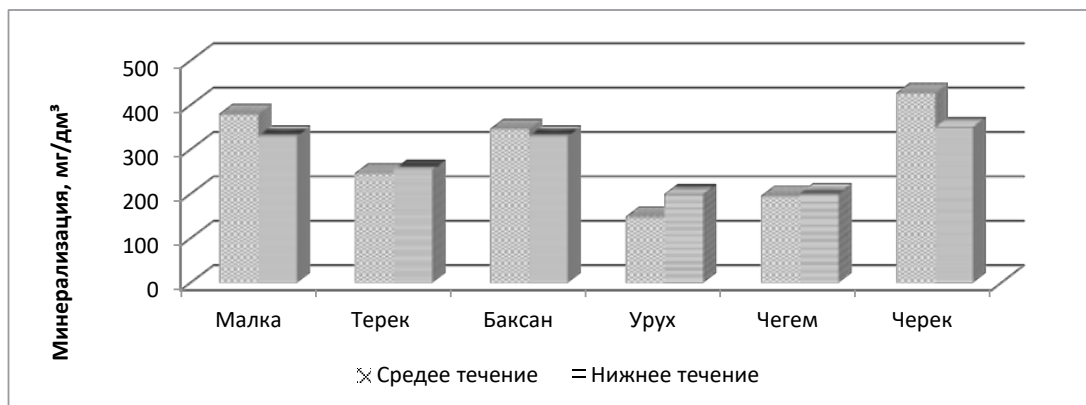


Рис. 1. Минерализация воды рек в среднем и нижнем течении в зимнюю межень

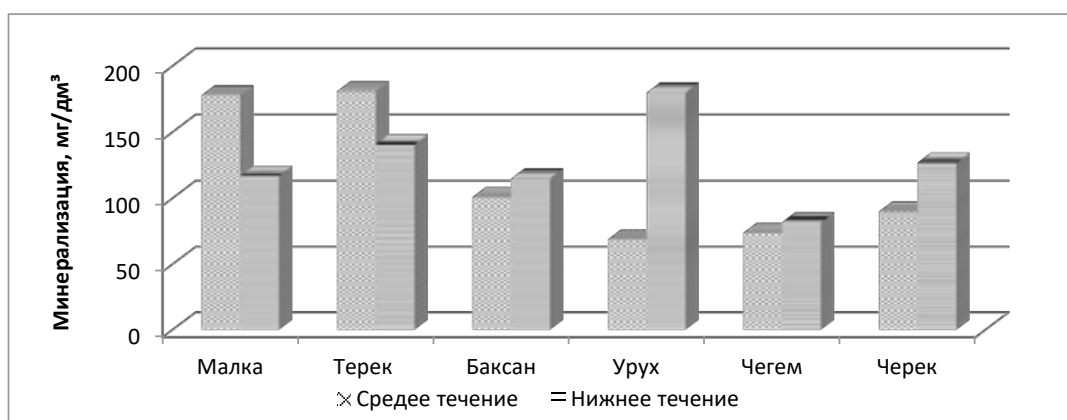


Рис. 2. Минерализация воды рек в среднем и нижнем течении в летнее половодье

Заключение

Проведена предварительная оценка минерализации воды рек Центрального Кавказа.

В зимнюю межень величина минерализации в среднем и нижнем течении рек меняется незначительно, например, в воде р. Терек 247 и 255 мг/дм³ соответственно. Очевидно, объясняется этот факт переходом рек на грунтовое питание. В летнее половодье в среднем и нижнем течении изменчивость минерализации значительна. Вода исследуемых рек в марте (зимняя межень) относится к классу среднеминерализованных (табл. 2), а в июле (летнее половодье) – к классу маломинерализованных. Знание минерализации воды рек имеет определенное значение для понимания геохимических процессов, происходящих на водосборах рек (зная минерализацию, можно определить интенсивность миграции растворенных

форм микроэлементов; имея значения расходов воды, можно определить ионный сток рек). Исследования в этом направлении будут продолжены.

Список литературы

1. Газаев Х.-М.М., Атабиева Ф.А., Кучменова И.И., Жинжакова Л.З. Гидролого-гидрохимические характеристики ледниковой реки Черек Балкарский // Водное хозяйство России. 2016. № 5. С. 35–47.
2. Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М. Река Терек: Гидрография и режим стока. Ростов н/Д.: Донской издательский дом, 2015. 606 с.
3. Никаноров А.М. Фундаментальные и прикладные проблемы гидрохимии и гидроэкологии. учебное пособие. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2015. 572 с.
4. Государственный водный реестр. [Электронный ресурс]. URL: <https://textual.ru/gvt/> (дата обращения: 19.05.2022).
5. Орлова Т.Н., Базлов Д.А., Орлов В.Ю. Химия природных и промышленных вод: учебное пособие. Ярославль: ЯрГУ, 2013. 120 с.

УДК 91:502.7

ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ ТИМПТОН ПРИ ВОЗМОЖНОМ ЗАРЕГУЛИРОВАНИИ ЕЕ СТОКА

¹Николаева Н.А., ²Копырина Л.И.

¹Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск,
e-mail: nna0848@mail.ru;

²Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

Южная Якутия является наиболее перспективным регионом Республики Саха (Якутия), природные ресурсы и экспортный потенциал которой обеспечивают реализацию энергетической стратегии на Северо-Востоке России. Современные тренды в мировой и российской экономике предполагают, что помимо разработки угольных месторождений необходим поиск других источников энергии. Наиболее вероятным является строительство каскада ГЭС на р. Тимптон – Канкунской и Нижне-Тимптонской ГЭС, который неизбежно приведет к обострению экологических проблем в связи с влиянием на всю экосистему реки. Особую актуальность приобретет возможное изменение качества воды крупного водохранилища Канкунской ГЭС в связи с возможным затоплением древесной растительности в ложе, очистка которого крайне затруднена в условиях Севера. В связи с этим выполнен прогноз гидрохимического и гидробиологического состояния воды водохранилища. В результате гидрохимического прогноза определено, что зарегулирование реки приведет к увеличению содержания органических веществ по сравнению с их фоновым значением за счет питающей реки, фенолов за счет вымывания из древесной растительности, а также к уменьшению содержания растворенного кислорода. Прогноз гидробиологического состояния показал, что при строительстве каскада ГЭС на р. Тимптон произойдут изменения в скорости течения, температурном и паводковом режимах, что повлечет за собой изменение видового состава водорослей фитопланктона, фитоперифитона и динамики их сезонного развития, что отрицательно скажется на режиме питания зоопланктона, зообентоса и рыбы. Роль *Bacillariophyta* водорослей будет уменьшаться от 46,4% до 29,0%, а *Charophyta* и *Cyanobacteria* – возрастать до 53,0% и 42,0% соответственно. Доля остальных отделов уменьшится до 20%, что отразится на количественном соотношении численности и биомассы клеток и, как следствие, на процессах естественного самоочищения реки.

Ключевые слова: р. Тимптон, каскад ГЭС, водохранилище, прогноз, гидрохимическое состояние, фитоперифитон, фитопланктон

FORECAST OF WATER QUALITY TIMPTON RIVER WITH POSSIBLE REGULATION OF ITS FLOW

¹Nikolaeva N.A., ²Kopyrina L.I.

¹Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru;

²Institute of Biological Problems of Permafrost, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

South Yakutia is the most promising region of the Republic of Sakha (Yakutia), whose natural resources and export potential ensure the implementation of the energy strategy in the North-East of Russia. Modern trends in the global and Russian economy suggest that in addition to the development of coal deposits, it is necessary to search for other sources of energy. The most likely is the construction of a cascade of hydroelectric power stations on the river. Timpton – Cancun and Lower Timpton HPP, which will inevitably lead to aggravation of environmental problems due to the impact on the entire ecosystem of the river. Of particular relevance will be a possible change in the water quality of the reservoir of the priority Kankun hydroelectric power station in connection with the possible flooding of woody vegetation in the bed, the purification of which is extremely difficult in the conditions of the North. In this regard, a forecast of the hydrochemical and hydrobiological conditions of the reservoir water was made. As a result of the hydrochemical forecast, it was determined that river regulation will lead to an increase in the content of organic substances in the water of the reservoir compared to their background value due to the feeding river, volatile phenols due to leaching from flooded woody vegetation, and also to a decrease in the content of dissolved oxygen. The forecast of the hydrobiological state showed that during the construction of the HPP cascade on the river. Timpton-Lower-Timptonskaya HPP with Idzhetskaya HPP or Kankunskaya HPP, there will be changes in the flow rate, temperature and flood regimes, which will entail a change in the species composition of phytoplankton, phytoperiphyton algae and the dynamics of their seasonal development, which will adversely affect the diet of zooplankton, zoobenthos and fish. The role of *Bacillariophyta* algae will decrease from 46.4% to 29.0%, while *Charophyta* and *Cyanobacteria* will increase to 53.0% and 42.0%, respectively. The share of other divisions will decrease to 20%, which will affect the quantitative ratio of the number and biomass of cells and, as a result, the processes of natural self-purification of the river.

Keywords: Timpton, HPP cascade, reservoir, forecast, hydrochemical state, phytoperiphyton, phytoplankton

Громадные природные ресурсы наиболее перспективного региона Республики Саха (Якутия) – Южной Якутии и его экспортный потенциал обеспечива-

ют реализацию энергетической стратегии на Северо-Востоке России. Складывающаяся в настоящее время политико-экономическая обстановка в стране предопределяет,

наряду с дальнейшей разработкой угольных месторождений, поиск других источников энергии. Наиболее перспективным является «использование гидропотенциала рек Южной Якутии для выработки электроэнергии со строительством Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса, в частности Канкунской ГЭС (1300 МВт) и Нижне-Тимптонской ГЭС (800 МВт) на р. Тимптон» [1, с. 184]. Реализация такого крупного энергопроекта в труднодоступном малоосвоенном регионе со специфическими природными условиями неизбежно приведет к обострению экологических проблем в связи со значительным влиянием на всю экосистему территории строительства.

При возникновении водохранилищ как нового географического объекта, экосистемы, сформировавшиеся ранее, преобразуются, что нарушает многие сложившиеся внутренние связи. Процесс становления экосистемы начинается с перекрытия реки плотиной и заполнения чаши водоема, когда формируются ее новые элементы. Из биотических элементов в наличии оказываются лишь разрозненные фрагменты речной экосистемы. Особенно существенное значение в экологическом отношении в этот период имеет резкое ослабление биотических взаимоотношений между организмами, которые ранее были связаны в единой трофической цепи. Одним из наиболее значимых последствий реформирования природной среды ожидается изменение качественного (гидрохимического и гидробиологического) состояния воды водохранилища. Особенно экологически значимым представляется вопрос, возникающий при проектировании крупных сибирских водохранилищ – затопление большого количества древесной и иной растительности ложа, очистка которого крайне затруднена технически, что значительно удорожает строительство в условиях Севера.

Целью работы является прогноз гидрохимического и гидробиологического состояний воды водохранилищ в случае зарегулирования стока р. Тимптон каскадом ГЭС как важное звено разработки комплексных природоохранных мероприятий по предотвращению нарушения сложившихся экосистем.

Материалы и методы исследования

В натурных условиях проведено исследование современного гидрохимического и гидробиологического (водорослей фитоперифитона, фитопланктона) состояний воды рек бассейна Тимптона. Отбор проб воды на гидрохимический анализ, их хранение, транспортировка и лабораторный

анализ были осуществлены по общепринятым рекомендациям [2]. Прогноз гидрохимического состояния воды водохранилища Канкунской ГЭС выполнен по методике прогнозирования гидрохимического состава воды водохранилищ ГЭС [3] с учетом методики [4], подтверждающей возможность ее применения для водохранилищ Севера. Также был использован метод географической аналогии.

Сбор и обработка проб водорослей перифитона выполнялись общепринятыми гидробиологическими методами [5]. Видовая принадлежность водорослей фитоперифитона и фитопланктона была определена путем применения отечественных определителей [6] с уточнением их в международной системе Algae Base [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Река Тимптон – крупный правый приток р. Алдан, исток расположен на северных склонах Станового хребта и характеризуется врезанным порожистым руслом и выходами скальных горных пород [8]. Согласно проектным данным, створ Канкунской ГЭС будет расположен в точке слияния р. Хатыми и Нельгюу, полный объем водохранилища составит 19,576 км³, площадь затопления – 241 км².

По характеру гидрологического режима река относится к водоемам смешанного типа питания с формированием годовых максимумов в период половодья, равно как при прохождении летних дождевых паводков. При этом весенний подъем уровней воды начинается в конце апреля или в первых числах мая. Максимальные уровни половодья в среднем отмечаются в конце мая при очищении реки ото льда.

Для р. Тимптон характерна крайняя неравномерность внутригодового распределения стока: в весеннее и летнее время формируется основная часть годового стока и лишь его незначительная часть выпадает на осенний и зимний периоды.

Прогноз гидрохимического состояния Канкунского водохранилища

При создании первого в Якутии водохранилища Вилуйской ГЭС было затоплено большое количество лиственницы с высокой средней плотностью, что привело к замедлению процесса распада и ухудшению гидрохимического состояния воды [4].

В Якутии преобладающей хвойной породой является лиственница Каяндера, которая характеризуется наличием труднорастворимых дубильных веществ, смол и терпенов. При недостаточном проведе-

нии подготовительных работ по лесосводке и лесоочистке и затоплении ложа водохранилищ существует вероятность замедления процессов вымывания, биохимического превращения и самоочищения воды от продуктов органического загрязнения, чему будут способствовать низкие температуры воды в течение продолжительного времени [9].

Расчет прогнозируемых концентраций органических и биогенных веществ для первых лет существования Канкунского водохранилища выполнен по формуле водно-солевого баланса с эмпирическими коэффициентами, полученными экспериментальным путем, которые характеризуют поступление органических и биогенных веществ из разлагающейся древесной растительности и почв. Выраженные в килограммах, они соответствуют количеству ингредиента, образующегося при разложении 1 т растительной массы и количеству ингредиента, переходящему в толщу воды из 1 кг залитой почвы [10]. Было определено содержание в воде будущего водохранилища величин бихроматной и перманганатной окисляемости, минеральных форм азота и фосфатов.

При расчетах использованы материалы натурных полевых работ по изучению современного гидрохимического состояния воды р. Тимптон и его притоков [10]. Для нахождения биомассы затопленной древесной растительности в абсолютно-сухом весе использованы материалы работы [11], а также гидрологические и гидроморфометрические данные и площадные параметры лесов и почв ложа, полученные из проектных материалов.

Ввиду отсутствия антропогенных сбросов, а также данных по экстракции органического вещества из луговой растительности и фитопланктона, для расчетов были выбраны следующие источники их поступления: речная вода, древесная растительность, лесная, луговая и болотная почвы.

В результате прогноза содержания органических и биогенных веществ в воде Канкунского водохранилища определен долевой вклад (в %) выбранных источников в общее количество органических веществ и биогенных элементов [10]. Рассчитано, что наиболее значимым источником экстракции органического вещества в воду водохранилища явится речной сток в связи с большим объемом воды и, соответственно, большим объемом органических веществ. С затопленной древесной растительностью поступит существенно меньшее количество органических и биогенных

веществ, а с затопленными почвами – еще меньше. В целом произойдет их увеличение по сравнению с фоновым содержанием, что будет характерно для первых лет существования водохранилища.

В годы формирования водохранилища вследствие выраженного процесса вымывания органического вещества из затопленных растительности, почв и пород возможна напряженность газового режима – уменьшение количества кислорода и избыток двуокиси углерода. В связи с этим рассчитано возможное количество кислорода, необходимого для минерализации органических веществ из затопленных древесной растительности и почв, для чего были использованы экспериментальные данные о количестве кислорода, идущего на окисление единицы массы растительного материала и поглощенного при контакте с различными почвами [12]. Рассчитано, что при этом будет потреблено 7,64 тыс. т растворенного кислорода, причем его основным потребителем явится древесная растительность. Общее содержание кислорода в воде водохранилища при его среднем содержании 9,9 мг/л составит 193,8 тыс. т. Прогнозируемая средняя концентрация кислорода в водохранилище составит 9,5 мг/л, что означает уменьшение запасов растворенного кислорода на минерализацию растительных остатков на 4 %. Затопленная высшая водная и луговая растительности, фитопланктон не принимались в расчет из-за отсутствия данных по их биомассе, хотя известно, что именно они потребляют при минерализации значительное количество кислорода [10].

При разложении органического вещества в воду поступают летучие фенолы с предельно допустимой концентрацией 0,001 мг/дм³, которые оказывают токсичное воздействие на гидробионты и сокращают продуктивность ихтиофауны [13]. На основании экспериментальных данных, проведенных на Виллойском водохранилище [4], рассчитана прогнозируемая концентрация летучих фенолов в воде Канкунского водохранилища, поступающих из остатков затонувшей лиственницы и с речным стоком. Определено, что суммарная концентрация фенолов в воде составит 0,003 мг/л [12]. По аналогии с Виллойским водохранилищем, в котором содержание летучих фенолов, превышающее нормируемое в 5–6 раз, наблюдается в течение длительного времени [4], прогнозируется возможность превышения содержания летучих фенолов в воде Канкунского водохранилища также на протяжении десятков лет.

Современное гидробиологическое состояние р. Тимптон и его прогноз

Изучение современного состояния водных экосистем, представленных различными группами водорослей фитопланктона и фитоперифитона, расположенных в зоне возможного промышленного освоения, является необходимым звеном гидробиологических мониторинговых исследований. Их характерной особенностью является видовое постоянство и относительная устойчивость в природных условиях, что позволяет фиксировать любые изменения в речной среде благодаря высокой чувствительности этих гидробиологических объектов в условиях загрязнения.

Водоросли являются активными участниками функционирования водных экосистем при укороченном вегетационном периоде, продуцируют кислород и органическое вещество, создают благоприятные условия для жизнедеятельности гидробионтов (зоопланктона, рыб и др.), а также являются индикаторами состояния водоемов [14]. Поэтому изучение состава, жизнедеятельности водорослей бассейнов рек позволяет выявить закономерности распределения водорослей в водоемах в экстремальных условиях Севера и для разработки мероприятий, связанных с сохранением рыбных запасов региона.

В июне, июле, августе 2007 и 2011 гг. были проведены работы по изучению водорослей фитоперифитона и фитопланктона бассейна р. Тимптон. Исследованные водоемы расположены как на левом, так и на правом берегах бассейна р. Тимптон и имеют различия по своим морфометрическим характеристикам, световым, температурным, гидрохимическим и гидродинамическим режимам, характеру субстратов, по степени антропогенного влияния и другим факторам среды.

Перифитон водных объектов бассейна р. Тимптон до сих пор остается слабоизученным. В настоящее время в составе фитопланктона бассейна р. Тимптон насчитывается 263 вида водорослей (278 видов и внутривидовых таксонов) из 113 родов и 8 отделов и фитоперифитона 250 видов и внутривидовых таксонов водорослей, состоящих из 129 родов и 8 отделов: *Bacillariophyta* – 116 видов и внутривидовых таксонов, *Charophyta* – 48, *Cyanobacteria* – 39, *Ochrophyta* – 20, *Chlorophyta* – 17, *Euglenozoa* – 5, *Miozoa* – 3, *Rhodophyta* – 1 [15]. Среди них найдено 12 новых видов для альгофлоры водоемов Якутии и 92 вида для бассейна р. Алдан. Из *Bacillariophyta* наиболее богато таксонами представле-

ны роды: *Eunotia* (12 видов), *Gomphonema* (10), *Cymbella* (9), *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia* (по 4 вида). По 3 таксона выявлено в родах *Achnanthes*, *Aulacoseira*, *Caloneis*, *Cocconeis*, *Epithemia*, *Fragilaria*, *Fragilariforma*, *Neidium*. Из отдела *Charophyta* отмечены следующие роды: *Cosmarium* (11 видов), *Closterium* (9), *Staurastrum* (4); из отдела *Ochrophyta*: *Tribonema* (5 видов), *Characiopsis*, *Dinobryon* и *Ophiocytium* (по 3); из *Cyanobacteria*: *Phormidium* (5 видов), *Nostoc* (4), *Merismopedia* (3), *Eglenozoa*: *Trachelomonas* (4 вида). В систематическом списке таксонов у 20 родов выявлено по два вида, 86 родов являются моновидами.

Исследования перифитона позволяют сделать прогноз о поэтапном влиянии каскада ГЭС на водные экосистемы р. Тимптон. Так, на начальном этапе становления экосистемы каскада ГЭС произойдет коренная перестройка видового состава водорослей, благополучно обитавших в реке и в результате внезапно оказавшихся в новых условиях. Изменения абиотической среды приведут к исчезновению многих видов, в результате на этом этапе становления водохранилищной биоты будет наблюдаться существенное обеднение видового состава перифитона по сравнению с исходной речной биотой.

На втором этапе становления экосистемы каскада ГЭС продолжатся изменения видового состава, доминирующих видов, величин численности, биомассы и продукции перифитона. По мере старения водохранилища будет формироваться перифитон «стоячих» водоемов с преобладанием зеленых, диатомовых и синезеленых водорослей.

Третий этап становления экосистемы в каскаде ГЭС будет зависеть от особенностей режима эксплуатации, которое имеет большое практическое значение и должно учитываться, прежде всего, при организации работ по эксплуатации биологических ресурсов водохранилища.

Заключение

Таким образом, в результате прогнозирования гидрохимического состояния воды Канкунского водохранилища можно сделать следующие выводы:

- показано, что при варианте регулирования стока р. Тимптон и сооружения водохранилища, а также отсутствия или недостаточного проведения подготовительных мероприятий по подготовке ложа, гидрохимическое состояние воды водохранилища претерпит изменения;

- создание водохранилища приведет к возрастанию содержания органических

веществ по сравнению с фоном; летучих фенолов, превышающих допустимые концентрации, и уменьшению количества растворенного кислорода;

– прогнозируется по аналогии с Вилюйским водохранилищем, что процессы восстановления гидрохимического качества воды Канкунского водохранилища могут растянуться на более продолжительное время по сравнению с центральными и южными регионами в связи с более суровыми климатическими условиями, распространением в области криолитозоны и затоплением преимущественно трудно разлагаемых хвойных пород в ложе водохранилища.

Прогнозируется, что при строительстве каскада ГЭС на р. Тимптон в составе Канкунской и Нижне-Тимптонской ГЭС произойдут изменения в скорости течения, температурном и паводковом режимах, что повлечет за собой изменение видового состава водорослей фитопланктона, фитоперифитона и динамики их сезонного развития, что отрицательно скажется на режиме питания зоопланктона, зообентоса и рыбы. Роль *Vacillatiophyta* водорослей будет уменьшаться от 46,4% до 29,0%, а *Charophyta* и *Cyanobacteria* – возрастать до 53,0% и 42,0% соответственно. Доля остальных пяти отделов уменьшится до 20%, что отразится в количественном отношении численности и биомассы клеток и, как следствие, на процессах естественного самоочищения реки.

Уточнение негативных экологических последствий на качественное состояние воды будущих водохранилищ, обусловленных зарегулированием стока р. Тимптон, и разработка природоохранных мероприятий по их минимизации или предотвращению возможны только после принятия решения о проектировании, определения мест размещения створов ГЭС и технологии подготовки ложа создаваемых водохранилищ.

Бюджетная тема (FWRS-2021-0014 AAAA-A21-121032200058-0) «Системные исследования предстоящего развития интеллектуальных энергетических систем во взаимосвязи с окружающей средой северо-восточных регионов РФ (на примере Республики Саха (Якутия))».

Бюджетная тема (0297-2021-0023) «Растительный покров криолитозоны таежной

Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование», рег. номер AAAA-A21-121012190038-0.

Список литературы

1. Мониторинг по реализации Энергетической стратегии РС (Я) на период до 2030 года. Цели и задачи Энергетической стратегии РС (Я) на период до 2032 года с целевым видением до 2050 года (этап 1). Якутск. С. 205.
2. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. [Электронный ресурс]. URL: http://www.pfo.meteorf.ru/assets/files/771/g_52.24.353-... (дата обращения: 20.04.2022).
3. Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. Киев: Наукова думка, 1979. 292 с.
4. Лабутина Т.М. Формирование и прогнозирование гидрохимического режима водохранилищ Северо-Востока СССР. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1985. 118 с.
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу поверхностных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
6. Генкал С.И., Ярушина М.И. Диатомовые водоросли слабоизученных водных экосистем Крайнего Севера Западной Сибири. М.: Научный мир, 2018. 212 с.
7. Guiry M.D. in Guiry M.D., & Guiry G.M. (2019). Algae Base. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 07.03.2021).
8. Река Алдан. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.syl.ru/article/304991/reka-aldan-opisanie-priroda-i-interesnye-faktyi...> (дата обращения: 08.07.2022).
9. Николаева Н.А. Прогноз гидрохимического состояния воды в водохранилище Канкунской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2015. № 2. С. 75–79.
10. Николаева Н.А. Прогноз качественного состояния воды водохранилища Канкунской ГЭС (Южная Якутия) // География и природные ресурсы. 2012. № 2. С. 46–50.
11. Исаев А.П. Динамика продуктивности листовидных древостоев мерзлотной зоны // Проблемы ботанических и лесоводческих исследований в РС (Я) и Финляндии. 2003. С. 114–119.
12. Николаева Н.А. Прогноз гидрохимического состояния проектируемых водохранилищ ГЭС в Южной Якутии // География и природные ресурсы. 2010. № 3. С. 120–125.
13. Тарлова А.Ф., Шептицкий В.А., Кузьмина В.В. Реакция различных систем организма рыб на фенол и его производные // Проблемы биологии продуктивных животных. 2018. № 4. С. 27–44.
14. Пшеничкова Е.В., Копырина Л.И. Водоросли реки Татта и ее пойменных озер (Центральная Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2019. № 5 (73). С. 14–27.
15. Nikolaeva N.A., Salova T.A., Kopyrina L.I., Pinigin D.D. Ecological aspects of water quality investigation in connection with projects of hydropower plants' construction on the Timpton River. Yakutia, Russia. Polar Science. 2022. DOI: 10.1016/j.polar.2022.100843.

СТАТЬИ

УДК 618.17-053.6:577.17

ОЦЕНКА ГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА ПРИ АМЕНОРЕЕ, НАРУШЕНИИ МЕНСТРУАЛЬНОГО ЦИКЛА И ГИРСУТИЗМЕ У ДЕВОЧЕК ПУБЕРТАТНОГО ПЕРИОДА**¹Исаева Л.М., ¹Магдиева Н.М., ^{2,3}Адиева А.А., ³Меджидова М.Г.**¹ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», Махачкала,
e-mail: luiza_isaeva_01@mail.ru, nmagdieva2000@mail.ru;²Прикаспийский институт биологических ресурсов
Дагестанского федерального исследовательского центра Российской академии наук,
Махачкала, e-mail: adieva-m@mail.ru;³ГАОУ ВО «Дагестанский государственный университет народного хозяйства»,
Махачкала, e-mail: marinamg@mail.ru

Состояние репродуктивного здоровья подростков определяет демографическую ситуацию и воспроизводство населения в ближайшем будущем, поэтому это является одной из наиболее обсуждаемых не только специалистами, но и широкой общественностью тем. Впервые, по данным отчетов врачей гинекологов-ювенистов, включающих в себя как данные по обращаемости, так и результаты диспансеризации, определена распространенность гинекологических заболеваний в популяции детей и подростков за последние годы. Отмечено достоверное увеличение распространенности гинекологических заболеваний. Выявлено, что аменорея, гирсутизм и нарушение менструального цикла (НМЦ) являются наиболее часто встречаемой патологией у детей и подростков в Республике Дагестан. Определен гормональный статус девочек с аменореей, гирсутизмом и НМЦ. При НМЦ было установлено нарушение синтеза эстрадиола, ЛГ и ФСГ; при гирсутизме – эстрадиола, ЛГ и пролактина; при аменорее – эстрадиола, ФСГ, ЛГ и прогестерона. В полученных результатах по оценке гормонального фона у девочек-подростков с НМЦ и гиперандрогенией показано понижение уровня эстрадиола и повышение уровня ЛГ. У подростков с НМЦ выявлены более выраженные изменения в секреции андрогенов, гонадотропинов и эстрадиола, что свидетельствует о вовлеченности всех звеньев эндокринной системы при формировании овариальной дисфункции.

Ключевые слова: гинекологические заболевания, подростки, гормональный статус**DETERMINATION OF HORMONAL STATUS IN AMENORRHEA, DEVIATION OF THE MENSIS AND HIRSUTISM IN PUBERTY GIRLS****¹Isaeva L.M., ¹Magdieva N.M., ^{2,3}Adieva A.A., ³Medzhidova M.G.**¹Dagestan State University, Makhachkala, e-mail: luiza_isaeva_01@mail.ru, nmagdieva2000@mail.ru;²Caspian Institute Biological Resources Dagestan Federal Research Institute Center
of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, e-mail: adieva-m@mail.ru;³Dagestan State University of National Economy, Makhachkala, e-mail: marinamg@mail.ru

The state of reproductive health of adolescents determines the demographic situation and reproduction of the population in the near future, so this is one of the most discussed topics not only by specialists, but also by the general public. According to the reports of pediatric gynecologists and juvenile doctors, including both the data on the appeal and the results of medical examination, the prevalence of gynecological diseases in the population of children and adolescents over the past 3 years has been determined. There was a significant increase in the prevalence of gynecological diseases. It was revealed that amenorrhea, hirsutism and deviation of the menstrual cycle (NMC) are the most common pathology in children and adolescents in the Republic of Dagestan. The hormonal status of girls with amenorrhea, hirsutism and NMC was determined. With NMC, a violation of the synthesis of estradiol, LH, and FSH was found; with hirsutism – estradiol, LH and prolactin; with amenorrhea – estradiol, FSH, LH and progesterone. The obtained results on the assessment of the hormonal background in adolescent girls with NMC and hyperandrogenism show a decrease in the level of estradiol and an increase in the level of LH. Adolescents with NMC showed more pronounced changes in the secretion of androgens, gonadotropins and estradiol, which indicates the involvement of all parts of the endocrine system in the formation of ovarian dysfunction.

Keywords: gynecological diseases, adolescents, hormonal status

Детская и подростковая гинекология – это развивающаяся специальность на стыке педиатрии, детской эндокринологии, гинекологии, медицины общественного здравоохранения и генетики, охватывающая широкий спектр заболеваний от периода новорожденности до подросткового возраста и представляющая значительную проблему в практическом здравоохранении. Гинеко-

логические проблемы, с которыми сталкиваются дети и подростки, часто являются сложными как с медицинской, так и с психологической точки зрения и, следовательно, требуют высококвалифицированного и последовательного подхода [1]. Ключом к пониманию нормального менструального цикла является последовательность и количество кровотока [2, 3]. Аномалии менстру-

ального цикла чаще распространены среди молодых девушек, становясь менее частыми по мере взросления, через 3–5 лет после менархе. Начиная с третьего года после менархе интервал между кровотечениями находится в диапазоне 21–34 дней, при этом длительностью от 3 до 7 дней, средняя менструальная кровопотеря составляет 35 мл (диапазон 5–80 мл) [4–6]. В целом эндокринные нарушения составляют ~40% причин первичной аменореи, а остальные 60% – аномалии развития [7, 8]. Различия в генетическом происхождении различных популяций могут влиять на причины гирсутизма [6, 8, 9]. Низкий уровень глобулина, связывающего половые гормоны (SHBG), который вырабатывается печенью, может способствовать развитию гирсутизма [10]. Повышенная активность 5-альфа-редуктазы, даже при нормальном уровне циркулирующих андрогенов, также может вызвать гирсутизм путем чрезмерного превращения тестостерона в ДГТ [2].

Заболевания надпочечников являются менее распространенными причинами гирсутизма. Гирсутизм не всегда сопровождается нарушением менструального цикла, девочка может иметь нормальные менструации, нормальный уровень андрогенов, но быть волосатой (идиопатический гирсутизм) [11]. Поскольку гирсутизм является симптомом, а не болезнью, важно найти основную причину и исключить необычные, но серьезные причины и тем самым остановить его прогрессирование.

Целью работы было выявление наиболее распространенных патологий и изучение особенностей гормонального статуса девочек с аменореей, гирсутизмом и нарушением менструального цикла.

Материалы и методы исследования

Для получения полной объективной информации о распространённости и структуре заболеваний по РД в 2019–2022 гг. были

использованы материалы отчетов. Работа проведена на базе ГБУ РД «РЦОЗСиР».

В работе проведено исследование гормонального статуса 68 девочек-подростков в возрасте от 14 до 17 лет (средний возраст $14,7 \pm 0,14$ лет). Первую группу составили 15 пациенток с регулярным менструальным циклом, но различными клиническими проявлениями гиперандрогении. Во вторую группу были включены 27 девочек-подростков с нарушениями менструального цикла (НМЦ) по типу олигоменореи. В третью группу была включена 21 пациентка с аменореей.

Всем пациенткам были назначены следующие анализы: кровь на половые и щитовидные гормоны на 3–4 день цикла, прогестерон на 21 день. Все пациентки жаловались на нарушение менструального цикла, а некоторые на оволосение (при гирсутизме). В ряде случаев жалоба на гирсутизм не формулировалась больной, ее, к примеру, беспокоили нарушения менструального цикла. Другие же пациентки, наоборот, предъявляли жалобы на наличие нежелательных волос, при этом не имели истинных признаков гирсутизма. Наибольшее внимание в диагностике причин гирсутизма было уделено патологии надпочечников. Также в сборе анамнеза уточнялось наличие сопутствующих заболеваний, в особенности тех, которые могут приводить к гирсутизму. У большинства пациенток были следующие жалобы: головные боли, изменение зрения, тошнота, тазовая боль, акне, выпадение волос и изменения размера груди. Стадии полового развития здоровых девочек оценивали по методу Tanner J., 1969, и Frasier S., 1980 (табл. 1).

Обследование подростков проводили по следующим параметрам: полный анализ крови с определением скорости оседания эритроцитов, определение пролактина и сыровороточных гонадотропинов (ФСГ и ЛГ), тест на прогестерон, а также определение свободного и общего тестостерона.

Таблица 1

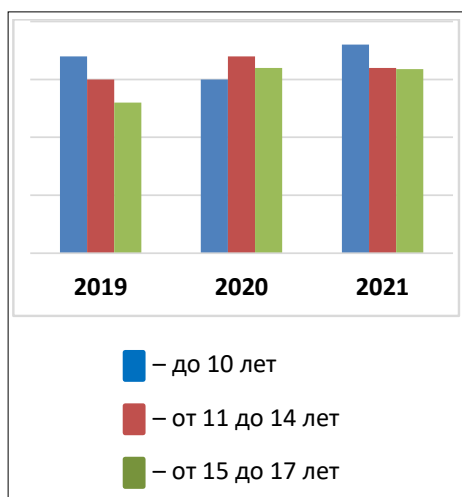
Оценка стадии полового развития здоровых девочек

Стадия полового развития	Молочные железы (Ma)	Оволосение		Менархе (Me)	Возраст (лет)
		Лобковое (Pb)	Подмышечное (Pb)		
I	Ma I	Pb I	Ax I	Me 0	До 9 лет
I	Ma I	Pb I	Ax I	Me 0	9–10
II	Ma II	Pb II	Ax II	Me 0	10–11
III	Ma III	Pb III	Ax III	Me I	12–13
IV	Ma IV	Pb IV	Ax IV	Овуляция	14–15
V	Угри, снижение тембра голоса, остановка роста				15–17

Статистическая обработка результатов. Несмотря на немаленький объем исследований, критерий Колмогорова – Смирнова не выявил стандартного распределения в группах, именно по этой причине были применены методы непараметрической статистики. Чтобы сопоставить частоты встречаемости различных патологий в группах, были использованы критерии Вилкоксона и Хи-квадрат.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе работы были проанализированы данные по распространенности различных заболеваний за последние три года на основании данных по обращаемости в республиканский центр охраны здоровья семьи и репродукции. Данные по возрастной структуре осмотренных детей, представлены на рисунке.



Возрастная структура осмотренных девочек и девушек

За последние три года зафиксировано 1256 обращений в кабинет ювениолога. Как видно из рисунка, по возрастным группам существенных различий в обращаемости к ювениологу не обнаружено. Так как до 5 лет обращаемость была единичной, то эта группа была объединена с девочками более старшего возраста (до 10 лет). Были проанализированы как показатели распространенности по обращаемости, так и результаты проведенной диспансеризации. Ежегодно в процессе такого мониторинга осматривают более 74000 девочек и подростков. Девочки, у которых выявлена патология или имеются жалобы, направляются в республиканский центр на дообследование. В табл. 2 представлены сводные данные за последние три года.

Таких девочек было в 2019 г. – 4415, в 2020 г. – 4703, в 2021 г. – 5571. Как показывают данные табл. 1, число девочек с выявленной патологией или жалобами в 2020–2021 гг. значительно выросло. Настораживает, что количество первичных обращений в связи с массовой диспансеризацией хоть и уменьшилось с 91,2% в 2019 г. до 77,2% в 2020 г. и 60,8% в 2021 г., но продолжает оставаться на критически высоком уровне.

Таблица 2

Динамические показатели обращаемости в РЦОЗСиР девочек с гинекологической патологией за 3 года

	2019	2020	2021
Количество посещений	4415	4703	5571
Сельские районы	445	661	1417
Города республики	297	326	576
Среднее количество обращений по республике	371	494	997
Количество первичных пациентов	677 (91,2%)	763 (77,2%)	1213 (60,8%)

Таблица 3

Структура гинекологической заболеваемости в кабинете гинеколога-ювениолога за 3 года

Выявленная патология	2019	2020	2021
Нарушение менструального цикла	231	175	193
Аменорея	51	40	32
Гирсутизм	67	55	17

Как видно из табл. 3, наиболее распространенными за последние три года из числа первично выявленных стали такие заболевания, как нарушение менструального цикла, аменорея и гирсутизм. В табл. 3 приведены абсолютные значения по количеству пациенток с установленной гинекологической патологией.

Результаты исследования гормонального фона девочек пубертатного возраста приведены в табл. 4. Также мы приводим таблицу, где представлены контрольные значения ФСГ, ЛГ, эстрадиола, прогестерона и тестостерона при нормальном функционировании эндокринной системы.

Таблица 4

Показатели уровня отклонения гормонов гипоталамо-гипофизарной системы и надпочечников в плазме крови у девочек

Количество пациентов	Аменорея	НМЦ	Гирсутизм
	21	27	15
Прогестерон	75 %	33 % 27 % норма 40 % н/и	н/и
Пролактин	Норма	11 %	33 %
Эстрадиол	71 %	77,7 %	100 %
ЛГ	57 %	66,6 %	100 %
ФСГ	11 %	22,2 %	Норма
Кортизол	Норма	Норма	Норма
Тестостерон	Норма	Норма	Норма

По результатам анализов была составлена таблица в процентах отклонения от нормальных значений. Как показали результаты исследования гормонального статуса, у девочек-подростков при гирсутизме выявлено 100 % нарушение выработки стероидного гормона, вырабатываемого яичниками, а также другими тканями, включая надпочечники, жир, печень, грудь и мозг – эстрадиола, участвующего в регуляции эстрального и менструального женских репродуктивных циклов.

Вторым гормоном со 100 % нарушением при гирсутизме оказался ЛГ, пептидный гормон, секретируемый гонадотропными клетками передней доли гипофиза. В женском организме ЛГ стимулирует секрецию яичниками эстрогенов, а пиковое повышение его уровня инициирует овуляцию. Также наблюдали нарушение выработки пролактина, но пролактин отвечает за созревание молочных желез во время беременности, поэтому он играет лишь незначительную роль в пубертатном развитии молочных желез, что требует ГН вместо этого. Отсюда делаем вывод, что пациенты с дефицитом либо пролактина, либо его рецептора в значительной степени здоровы.

При НМЦ было установлено нарушение синтеза эстрадиола, ЛГ и ФСГ. В полученных результатах по оценке гормонального фона у девочек-подростков с НМЦ мы видели понижение уровня эстрадиола и повышение уровня ЛГ. Сходную тенденцию мы наблюдали в группе девочек с гирсутизмом.

При НМЦ мы также наблюдали нарушение выработки прогестерона. Говорить о степени вовлеченности этого гормона в нарушение менструального цикла не представляется возможным. Как видно из табл. 4, около половины пациенток

с НМЦ (40 %) не исследовали содержание уровня данного гормона в плазме крови, несмотря на то, что имели направление в диагностическую лабораторию. При аменорее также нарушена секреция эстрадиола, ФСГ, ЛГ и прогестерона.

Заключение

Таким образом, установлена динамика структуры и распространенности гинекологических заболеваний девочек-подростков за последние три года: отмечено достоверное увеличение распространенности гинекологических заболеваний.

Оценка уровня гормонов показала, что при НМЦ наиболее часто нарушен синтез эстрадиола, ЛГ и ФСГ; при гирсутизме – эстрадиола, ЛГ и пролактина; при аменорее – эстрадиола, ФСГ, ЛГ и прогестерона. У девочек-подростков с НМЦ и гиперандрогенией показано понижение уровня эстрадиола и повышение уровня ЛГ. У подростков с НМЦ выявлены более выраженные изменения в секреции андрогенов, гонадотропинов и эстрадиола, что свидетельствует о вовлеченности всех звеньев эндокринной системы при формировании овариальной дисфункции.

Список литературы

1. Магдиева Н.М., Исаева Л.М., Меджидова Д.Б., Адиева А.А. Структура и распространенность гинекологических заболеваний среди детей и подростков // Современные вопросы взаимодействия образования, науки и общества: материалы VIII научно-практической конференции. Махачкала, 2022. С. 140–145.
2. Московкина А.В., Пузикова О.З., Линде В.А. Характеристика гормонального статуса девочек с пубертатной гиперандрогенией // Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2013. № 4. С. 43–47.
3. Abitbol L., Zborovski S. Evaluation of delayed puberty: what diagnostic tests should be performed in the seemingly oth-

- erwise well adolescent? MR. J. Palmert Arch Dis Child. 2016. No. 101 (8). P. 767–771.
4. Alenazi M.S., Alqahtani A., Ahmad M.M., Almalki E.M., AlMutair A., Almalki M. Puberty Induction in Adolescent Males: Current Practice. Cureus. 2022. Vol. 5. No. 14 (4). P. 238–64.
5. Anderson A.B.M., Demers M. Prostaglandins in menstrual fluid in menorrhagia and dysmenorrhea. J. Obstet. Gynaecol. 2015. No. 91. P. 673–680.
6. Harrington J. Distinguishing constitutional delay of growth and puberty from isolated hypogonadotropic hypogonadism: critical appraisal of available diagnostic tests. J. Harrington, M.R. Palmert. J. Clin. Endocrinol. Metab. 2012. No. 97 (9). P. 3056–3067.
7. Jonsdottir-Lewis E., Feld A., Ciarlo R., Denhoff E. Timing of Pubertal Onset in Girls and Boys With Constitutional Delay. J. Clin. Endocrinol. Metab. 2021. Vol. 18. No. 106 (9). P. 3693–3703.
8. Mazzilli S., Diluvio L., Di Prete M., Rossi P., Orlandi A., Bianchi L. Tacrolimus 0,03% ointment for treatment of paediatric lichen sclerosus: a case series and literature review. J. International Medical Research. 2018. No. 46. P. 3724–3728.
9. Nerantzoulis I., Grigoriadis T., Michala L. Genital lichen sclerosus in childhood and adolescence-a retrospective case series of 15 patients: early diagnosis is crucial to avoid long-term sequelae. J. Pediatrics. 2017. No. 176. P. 1429–1432.
10. Willemsen R.H., Elleri D., Williams R.M. Pros and cons of GnRHa treatment for early puberty in girls. J. Nat.Rev. Endocrinol. 2014. No. 10. P. 352–363.
11. Zhu J., Feldman H.A., Eugster E.A., Fechner P.Y., Nahata L. Practice variation in the management of girls and boys with delayed puberty. Endocr. Pract. 2020. № 26 (3). P. 267–284.

УДК 616.5:578.76

ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ КОЖНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ПРИ COVID-19

Кузьмина Т.С.*ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары,
e-mail: romashka152@mail.ru*

На фоне высокого роста заболеваемости пациентов коронавирусной инфекцией за последние два года отмечаются кожные высыпания разного характера – эритематозные, везикулярные, аллергические, ангиитные и др. При этом они мало изучены, поэтому являются предметом исследований ряда авторов. В основе данной работы клинический материал, представленный пациентами с COVID-19 ($n = 80$). В зависимости от степени тяжести больные разделены на две группы. Первая группа (клинического сравнения, $n = 40$) – больные с легкой тяжестью коронавирусной инфекции. Вторая группа (основная, $n = 40$) – пациенты с тяжелой формой COVID-19. Применены клинические и лабораторные методы исследования. В результате анализа клинических и лабораторных показателей исследуемых пациентов с коронавирусной инфекцией в раннем периоде, установлено, что формирование кожных высыпаний сопровождается нарушениями системы гомеостаза (эндогенная интоксикация, активация перекисного окисления липидов и фосфолипазной системы, гемостатических расстройств – гипокоагуляции и гипифибринолиза). Выраженность данных отклонений была достоверно ($p = 0,01$) сопряжена с формой тяжести заболевания. При легкой степени инфекции гомеостатические нарушения были меньше выражены, а при тяжелой – протекали тяжелее. Установлено, что на фоне развития инфекции COVID-19 регистрируются кожные высыпания – пятнистые, папулезные, везикулярные, папуло-везикулярные, пустулезные. Частота данных нарушений была достоверно ассоциирована с изменениями системы гомеостаза (эндотоксикозом, оксидативным стрессом, фосфолипазной активацией, гемостатическими нарушениями). Большое количество наблюдалось среди пациентов основной группы (с тяжелой формой коронавирусной инфекции).

Ключевые слова: COVID-19, интоксикация, пятна, папулы, везикулы, пустулы

PATHOGENETIC MECHANISMS OF SKIN MANIFESTATIONS IN COVID-19

Kuzmina T.S.*Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, e-mail: romashka152@mail.ru*

Against the background of a high increase in the incidence of coronavirus infection in patients over the past 2 years, they have skin rashes of various types – erythematous, vesicular, allergic etc. Because of the seemingly high incidence of reports for these skin reactions, there is demand for more research. This work is based on clinical material presented by patients with COVID-19 ($n = 80$). The patients are divided into 2 groups based on severity. The first group (clinical comparison, $n = 40$) – patients with mild severity of coronavirus infection. The second group (main, $n = 40$) – patients with severe COVID-19. Clinical and laboratory research methods have been adopted. Analyzing the clinical and laboratory parameters of the studied patients with coronavirus infection in the early period, it was found that the formation of skin rashes is accompanied by violations of the homeostasis system (endogenous intoxication, activation of lipid peroxidation and phospholipase system, hemostatic disorders – hypocoagulation and hypofibrinolysis). The severity of these deviations was significantly ($p = 0.01$) conjugated with the severity of the disease. With a mild degree of infection, homeostatic disorders were less pronounced. With a high degree of infection, they were more prominent. It was found that against the background of the development of COVID-19 infection, manifestations of skin rashes are recorded – spotted, papular, vesicular, papulo-vesicular, pustular. The frequency of these disorders was significantly associated with changes in the homeostasis system (endotoxemia, oxidative stress, phospholipase activation, hemostatic disorders). A large number was observed among patients of the main group (with severe coronavirus infection).

Keywords: COVID-19, intoxication, spots, papules, vesicles, pustules

В последние два года наблюдается рост научных исследований о клиническом течении коронавирусной инфекции (COVID-19), ее осложнениях, лечебных и профилактических мерах [1, 2].

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, в настоящее время COVID-19 зафиксирована в 226 странах, частота встречаемости равняется примерно 444 млн во всем мире, количество летальных исходов – 6 млн. В Российской Федерации встречаемость коронавирусной инфекции составила 16,5 млн, летальный исход – 355 тыс. [3, 4].

До настоящего времени патогенетические механизмы коронавирусной инфекции недостаточно изучены. Поэтому исследователи находятся в активном поиске [5, 6]. С другой стороны, в источниках отмечено, что каскад патогенеза коронавирусной инфекции заключается в альвеолярном повреждении, формировании цитокинового ответа и эндотелиопатии, пониженной концентрации кислорода в клетках, развитии эндотоксикоза и дисфункции разных органов и систем организма (печени, легких и др.) [7].

В последнее время у больных коронавирусной инфекцией наблюдалось фор-

мирование кожных высыпаний разного характера (эритематозных, везикулярных, аллергических, ангиитных (петехиальных) и др.). S.B. Recalcarti, итальянский дерматолог, является одним из первых авторов, описавших первые кожные патологии у больных COVID-19. В своей работе он отметил, что среди 20,1 % пациентов с коронавирусной инфекцией наблюдалось развитие кожных высыпаний, у 9,0% до госпитализации и у 11,3% после поступления в клинику. Данные больные имели разные формы кожных сыпей: эритематозные (77,8%), аллергические (16,6%), везикулярные (5,5%). У данных пациентов наблюдались субъективные ощущения в виде слабовыраженного зуда [8]. A. Estébanez и соавт. показали, что кожные проявления являются одними из основных симптомов прогрессирования коронавирусной инфекции [9]. C.J. Su и C.H. Lee по ходу исследований наблюдали, что кожные высыпания: диффузная крапивница, эритематозная сыпь, везикулезные высыпания, проявлявшиеся при ветряной оспе – регистрировались у 20,0% больных инфекцией COVID-19 [10, 11].

Несмотря на достигнутые преимущества в изучении кожных высыпаний на фоне коронавирусной инфекции и ее осложнений, до сих пор отмечается активный поиск в исследованиях их патогенетических, диагностических и терапевтических аспектов.

Цель работы – определить основные патогенетические факторы формирования кожных высыпаний у пациентов с коронавирусной инфекцией.

Материалы и методы исследования

В основу данной работы положен клинический материал, представленный пациентами с COVID-19 ($n = 80$). Исследование проведено на базе кафедры дерматовенерологии ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары.

Критерии набора пациентов: персональное согласие на участие в исследовании; клинический диагноз «Коронавирусная инфекция. Кожная сыпь»; верификация диагноза проведена клинико-биохимически-инструментальными методами; возраст от 21 до 78 лет; разные виды сыпи; легкая и тяжелая степень тяжести по системе Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE-II).

Критерии исключения из исследования: отказ от исследования; возраст моложе 21 и старше 78 лет; аллергия к компонентам терапии; использование хирургических операций; наличие тяжелых сопутствующих заболеваний (злокачественных и психологических), беременность, время лактации.

В зависимости от степени тяжести больные разделены на две группы. Первая группа (клинического сравнения, $n = 40$) – больные с легкой тяжестью коронавирусной инфекции. Вторая группа (основная, $n = 40$) – пациенты с тяжелой формой COVID-19.

Сравнение изучаемых параметров проведено с референсными значениями. Для этого обследованы 15 условно здоровых лиц (женщин было 8 (53,3%), мужчин – 7 (46,7%)), средний возраст $30,2 \pm 3,88$ лет.

Определение степени тяжести пациентов проводилось при их госпитализации в клинику при помощи APACHE-II. Результаты данной балльной шкалы показали, что полученные баллы в группе сравнения составили $3,8 \pm 0,09$, а в основной группе – $16,4 \pm 0,88$, что по данным литературы соответствует легкой и тяжелой степени [12].

Во время наблюдения больным назначена традиционная терапия, в которую вошли инфузионно-детоксикационный, антикоагулянтный, антибактериальный, десенсибилизирующий и др. компоненты.

В работе использованы следующие методы.

Клинические исследования.

Лабораторные исследования. Таксация выраженности эндотоксикоза по содержанию гидрофильных (молекул средней массы (МСМ – $\lambda = 254$ нм) и гидрофобных метаболитов (эффективная (ЭКА) концентрации альбумина и резерва (РСА) связывания альбумина) в плазме крови. Оценка активности процессов липоперекисления с помощью значения триеновых (ТК) конъюгатов, малонового (МДА) диальдегида и фосфолипазы A_2 (ФЛ A_2). Определение функционального состояния системы гемостаза тромбоэластографом TEG® 5000 (США) по значению следующих параметров: реактивное время (РВ) и процесс лизиса сгустка (ПЛС).

Контрольные сроки – первые сутки поступления.

Статистический анализ полученных данных выполнялся с помощью цифровых программ Microsoft Excel 2013 и Statistica 12.0, использовались t-критерий Стьюдента и критерий Харди – Вайнберга.

Результаты исследования и их обсуждение

Клиническое обследование показало, что средний возраст исследуемых пациентов составил $65,2 \pm 5,27$ лет, в первой группе $39,8 \pm 6,5$ лет, а во второй – $61,8 \pm 6,14$ лет.

Исследуемые пациенты помимо основного диагноза имели и сопутствующие заболевания: патологии сердечно-сосудистой (ишемические, гипертонические и др.), дыхательной (тонзиллит, бронхит, пневмония), желудочно-кишечной (гастрит, язвенная болезнь),

мочевыделительной (мочекаменная болезнь), нервной (инсульт, психические расстройства) систем. Они наблюдались у 5 (12,5%), 2 (5,0%), 8 (20,0%), 3 (7,5%) пациентов группы сравнения соответственно и у 15 (37,5%), 6 (15,0%), 4 (10,0%) и 7 (17,5%) пациентов основной группы соответственно.

При изучении синдрома эндогенной интоксикации у пациентов установлено,

что ранний период коронавирусной инфекции сопровождался снижением концентрации гидрофобных метаболитов и увеличением гидрофильных токсинов в сыворотке крови. В группе сравнения содержание ОКА и РСА было ниже нормы 19,6 и 24,6% ($p = 0,01$). В то же время количество МСМ превосходило референсный параметр на 28,2% ($p = 0,01$) (рис. 1).

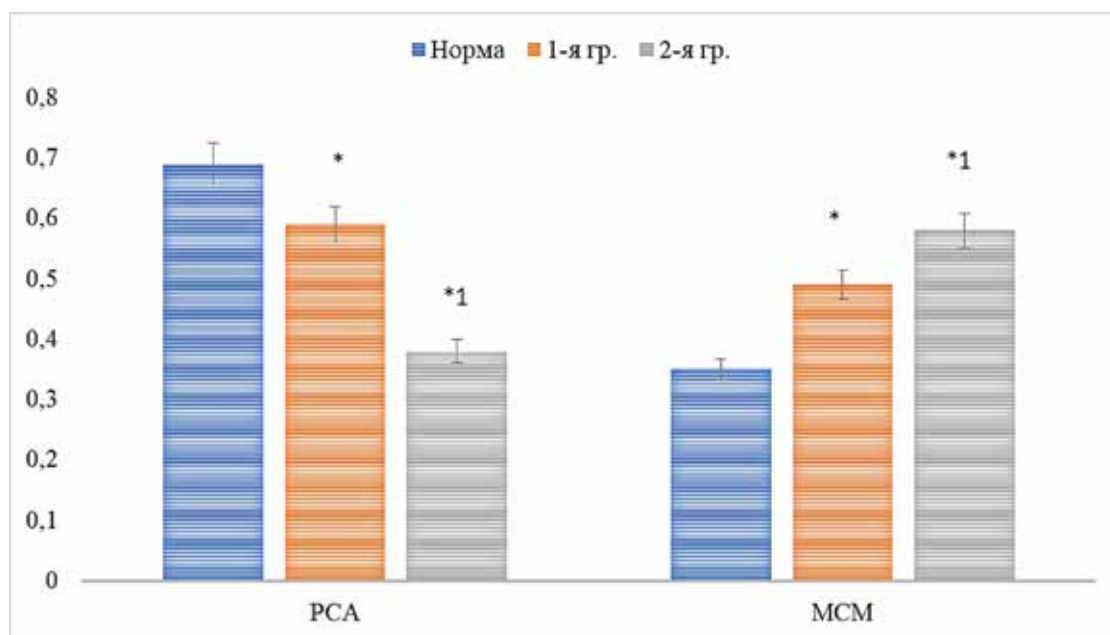


Рис. 1. Показатели эндотоксикоза

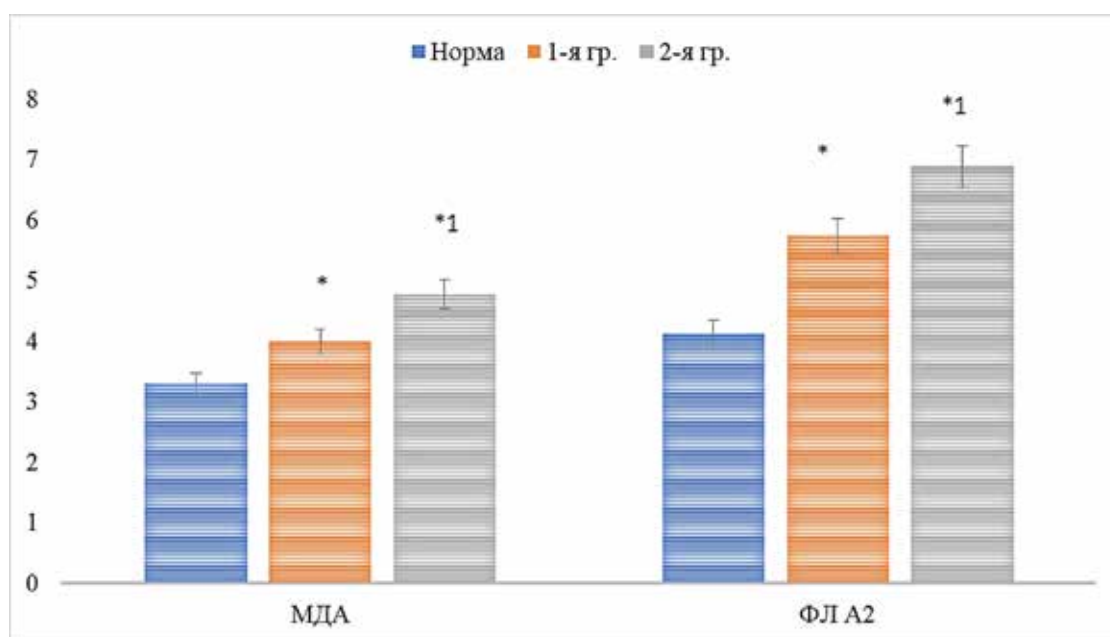


Рис. 2. Показатели липоперекисления

У больных основной группы значение общей концентрации альбумина и его резервной формы было снижено относительно нормы в день госпитализации на 32,5 и 48,1% ($p = 0,01$). В тот же день содержание молекул средней массы ($\lambda = 254$ нм) превосходило референсный показатель на 55,4% ($p = 0,01$) (рис. 1).

Изучение результатов исследований выявило, что в начальной стадии COVID-19 отмечена активация перекисного окисления липидов и фосфолипазной системы.

Итак, на первые сутки наблюдения у пациентов первой группы (с легкой степенью коронавирусной болезни) обнаружено повышение уровня ТК и МДА на 21,6 и 28,4% ($p = 0,01$). В группе с тяжелой формой COVID-19 (второй) содержание триеновых конъюгатов и малонового диальдегида превосходило исходное значение на 41,2 и 69,5% ($p = 0,01$) (рис. 2).

Формирование эндогенной интоксикации и перекисного окисления липидов характеризовалось фосфолипазной активностью (рис. 2).

В день поступления пациентов концентрация ФЛ A_2 превышала нормальный показатель как в первой группе на 21,8% ($p = 0,01$), так и во второй – 56,4% ($p = 0,01$) (рис. 2).

Данными исследований выявлено, что патогенетические процессы, развивающиеся в раннем периоде коронавирусной болезни, вызывают серьезные изменения в системе гомеостаза, с одной стороны, и тяжелые осложнения, с другой [13, 14].

В группе с легкой тяжестью COVID-19 наблюдалось усиление коагуляционной реакции свертывающей системы крови при сохранении фибринолитической активности (реактивное время было снижено на 20,7%, $p = 0,01$, процесс лизиса сгустка был в пределах исхода) (рис. 3).

У пациентов основной группы (с тяжелой формой коронавирусной инфекции) обнаружены гипокоагуляционные и гипофибринолитические проявления. Значение РВ и ПЛС было удлинено относительно нормы на 48,2 и 37,5% ($p = 0,01$).

Важно подчеркнуть, что выраженность гомеостатических нарушений (эндотоксикоза, активации липопериокисления, гемостатических расстройств) коронавирусной болезни была сопряжена со степенью тяжести состояния (рис. 1–3). Результаты исследования показали, что уровень эндотоксикоза, липопериокисления и гемостатических расстройств во второй группе (с тяжелой формой COVID-19) превышал первую (с легкой степенью инфекции) в день госпитализации. Установлено, что содержание ОКА, ЭКА было выше в основной группе при сравнении с группой сравнения на 19,4 и 25,6% ($p = 0,01$), МСМ – больше на 31,7% ($p = 0,01$), ТК, МДА и ФЛ A_2 – больше на 21,5; 27,3 и 34,2% ($p = 0,01$), длительность РВ и ПЛС – длиннее на 22,9 и 18,6% ($p = 0,01$).

По ходу изучения клинических данных установлено, что в первые сутки поступления в клинику у больных исследования наблюдались сыпи разного характера: пятна, папулы, везикулы, пустулы.

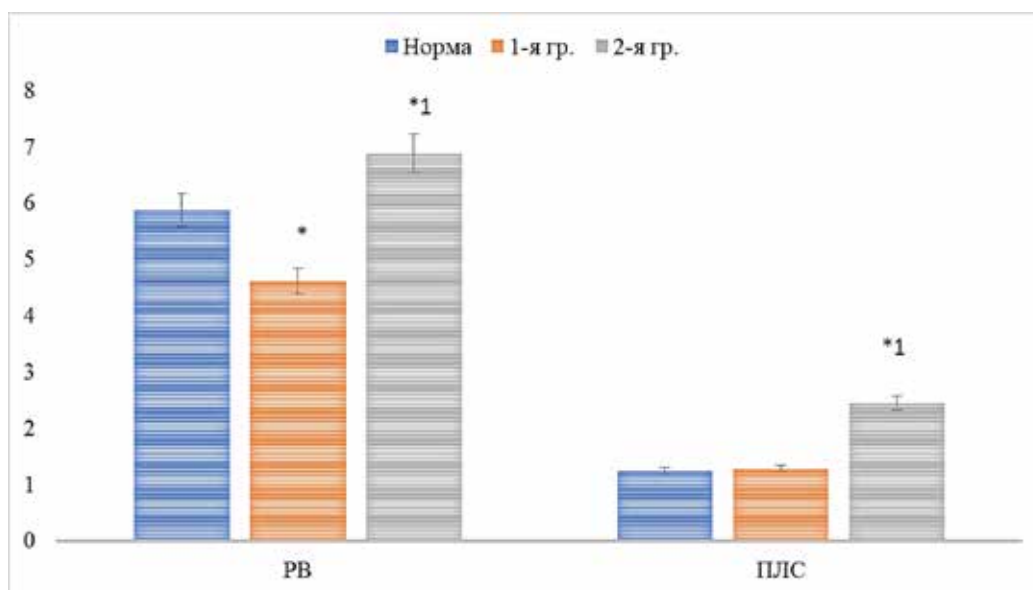


Рис. 3. Показатели системы гемостаза

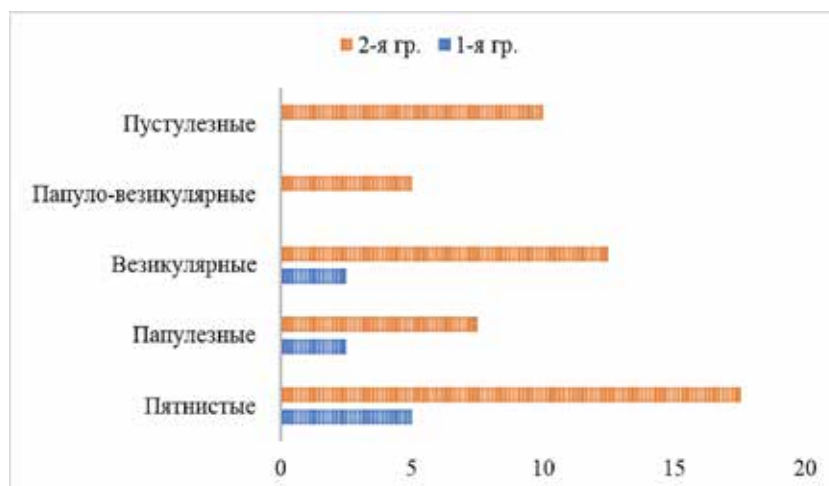


Рис. 4. Встречаемость кожных поражений

В группе сравнения кожные поражения были зарегистрированы у 4 (10,0%) пациентов: пятнистые высыпания – у 2 (5,0%), папулезные – у 1 (2,5%), везикулярные – у 1 (2,5%). В основной группе дермальные высыпания обнаружены у 21 (52,5%) в виде пятен (7 (17,5%)), папул (3 (7,5%)), везикул (5 (12,5%)), папуло-везикул (2 (5,0%)), пустул (4 (10,0%)) (рис. 4).

Согласно данным литературы выявлено, что формирующиеся при коронавирусной инфекции воспалительная реакция и эндогенная интоксикация вызывают дилатацию капилляров, застой крови, увлечение проницаемости сосудов, формирование отека эпидермиса, некроз глубоких слоев кожи и их дистрофию.

Проведение анализа корреляционной зависимости показало достоверную ассоциацию между частотой встречаемости кожных покровов с показателями системы гомеостаза (рис. 4).

Установлено, что в основной группе показатели эндогенной интоксикации (ОКА, РСА, МСМ), липопериокисления (ТК, МДА), фосфолипазной активности (ФЛ А2), коагуляционной активности свертывания крови (РВ) и ее фибринолиза (ПЛС) были сопряжены с частотой встречаемости кожных высыпаний ($p = 0,01$, рис. 5).

В группе сравнения взаимосвязь кожных изменений была зарегистрирована с некоторыми показателями системы гомеостаза (рис. 5).

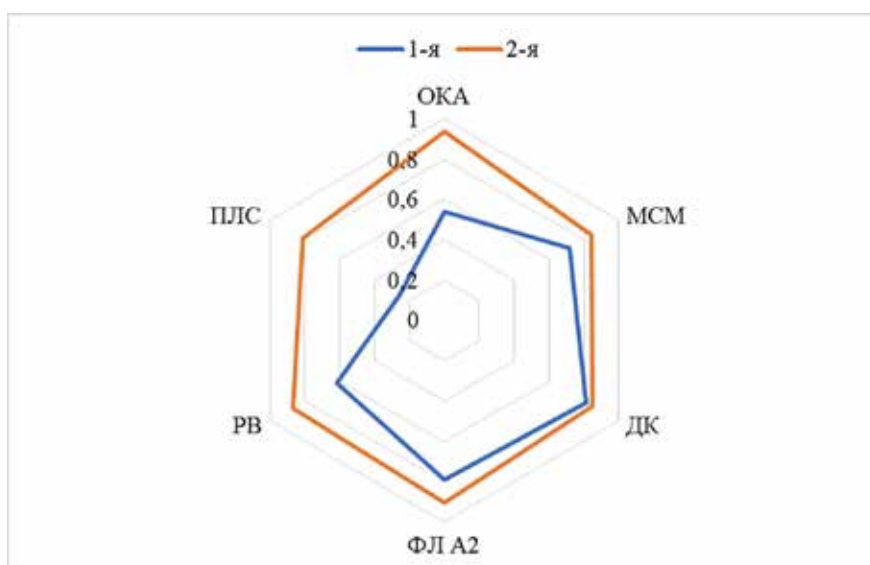


Рис. 5. Корреляционная зависимость кожных высыпаний с показателями системы гомеостаза при коронавирусной инфекции

Выводы

1. Анализируя клинические и лабораторные показатели исследуемых пациентов с коронавирусной инфекцией в раннем периоде, установлено, что формирование данной патологии сопровождается нарушениями системы гомеостаза (эндогенная интоксикация, активация перекисного окисления липидов и фосфолипазной системы, гемостатические расстройства – гипокоагуляция и гипофибринолиз).

2. Выраженность данных отклонений была достоверно ($p = 0,01$) связана с формой тяжести заболевания. При легкой степени инфекции гомеостатические нарушения были меньше выражены, а при тяжелой – протекали тяжелее.

3. Установлено, что на фоне развития инфекции COVID-19 регистрируются кожные высыпания – пятнистые, папулезные, везикулярные, папуло-везикулярные, пустулезные. Частота данных нарушений была достоверно ассоциирована с изменениями системы гомеостаза (эндотоксикозом, оксидативным стрессом, фосфолипазной активацией, гемостатическими нарушениями). Большое количество наблюдалось среди пациентов основной группы (с тяжелой формой коронавирусной инфекции).

Список литературы

1. Java A., Apicelli A.J., Liszewski M.K., Coler-Reilly A., Atkinson J.P., Kim A.H., Kulkarni H.S. The complement system in COVID-19: friend and foe? *JCI Insight*. 2020. No. 5 (15). P. e140711. DOI: 10.1172/jci.insight.140711.
2. Lazzaroni M.G., Piantoni S., Masneri S., Garrafa E., Martini G., Tincani A., Andreoli L., Franceschini F. Coagulation dysfunction in COVID-19: The interplay between inflammation, viral infection and the coagulation system. *Blood Rev*. 2021. No. 46. P. 100745. DOI: 10.1016/j.blre.2020.100745.
3. Сметанина С.В. Новая коронавирусная инфекция (COVID-19): эпидемиология, клиника, диагностика, лечение и профилактика // *Московская медицина*. 2020. № S2 (36). С. 14–15.
4. Супотницкий М.В. Новый коронавирус sars-cov-2 в аспекте глобальной эпидемиологии коронавирусных инфекций // *Вестник войск ПХБ защиты*. 2020. Т. 4. № 1. С. 32–65.
5. Tang H.J., Lai C.C. The association between corticosteroid uses and mortality among severe COVID-19 patients. *J Infect*. 2021. No. 82 (2). P. e24. DOI: 10.1016/j.jinf.2020.09.005.
6. Taleghani N., Taghipour F. Diagnosis of COVID-19 for controlling the pandemic: A review of the state-of-the-art. *Biosens Bioelectron*. 2021. No. 174. P. 112830. DOI: 10.1016/j.bios.2020.112830.
7. Jin Y., Yang H., Ji W., Wu W., Chen S., Zhang W., Duan G. Virology, Epidemiology, Pathogenesis, and Control of COVID-19. *Viruses*. 2020. No. 12 (4). P. 372. DOI: 10.3390/v12040372.
8. Hembram P. An outline of SARS-CoV-2 pathogenesis and the complement cascade of immune system. *Bull Natl Res Cent*. 2021. No. 45(1). P. 123. DOI: 10.1186/s42269-021-00582-2. Epub 2021 Jul 9.
9. Recalcati S. Cutaneous manifestations in COVID-19: a first perspective. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2020. № 34 (5). P. e212-e213. DOI: 10.1111/jdv.16387.
10. Estébanez A., Pérez-Santiago L., Silva E., Guillen-Climent S., García-Vázquez A., Ramón M.D. Cutaneous manifestations in COVID-19: a new contribution. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2020. No. 34 (6). P. e250-e251. DOI: 10.1111/jdv.16474.
11. Su C.J., Lee C.H. Viral exanthem in COVID-19, a clinical enigma with biological significance. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2020. № 34 (6). P. e251-e252. DOI: 10.1111/jdv.16469.
12. Юшук Н.Д. Инфекционные болезни: синдромальная диагностика / Под ред. Н.Д. Юшука, Е.А. Климовой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 176 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN97859704440452.html> (дата обращения: 04.07.2022).
13. Заболотских И.Б., Киров М.Ю., Лебединский К.М., Проценко Д.Н. Анестезиолого-реанимационное обеспечение пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19. Методические рекомендации Общероссийской общественной организации «Федерация анестезиологов и реаниматологов» // *Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова*. 2020. № S1. P. 9–120.
14. Barbosa L.C., Gonçalves T.L., de Araujo L.P., Rosario L.V.O., Ferrer V.P. Endothelial cells and SARS-CoV-2: An intimate relationship. *Vascul Pharmacol*. 2021. № 137. № 106829. DOI: 10.1016/j.vph.2021.106829.
15. Gencer S., Lacy M., Atzler D., van der Vorst E.P.C., Döring Y., Weber C. Immunoinflammatory, Thrombohemostatic, and Cardiovascular Mechanisms in COVID-19. *Thromb Haemost*. 2020. № 120. P. 1629–1641. DOI: 10.1055/s-0040-1718735.

УДК 612.821.88

АЛЬФА-СТРОБИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ В ПЕРВИЧНЫХ СЕНСОРНЫХ ЗОНАХ КОРЫ МОЗГА

Коёкина О.И.*Научный центр исследований сознания, Москва, e-mail: koekina@yandex.ru*

Целью работы являлись поиск и определение способа обработки сенсорных сигналов в первичных сенсорных зонах коры мозга отдельных видов восприятия: аудиального, визуального, кинестетического. Показано, что альфа-ритм специфичен в ограниченных частотных диапазонах по отношению к модальности сенсорных сигналов. Альфа-ритм частотой 7–9 Гц относится к соматосенсорному, 9–12 Гц – к зрительному, 12–13 Гц и 7–9 Гц – к слуховому восприятию. Эквивалентные дипольные источники альфа-ритма в первичной сенсорной зоне коры, по ходу афферентных путей, в структурах лимбической области и восходящей неспецифической активации объединяются в систему каналов передачи сенсорных сигналов отдельной модальности в едином частотном диапазоне. Частотная специфичность каналов передачи сенсорных сигналов для каждой модальности может быть обусловлена стробированием – выделением интервала на шкале частот для увеличения вероятности обнаружения полезных сигналов на фоне помех. Подтверждено предположение эфептической передачи в средах мозга сигналов разных сенсорных модальностей в область доминирующего центра. Способы самоорганизации работы мозга в виде альфа-стробирования и альфа-сканирования активности в отдельных структурах могут иметь дальнейшее развитие при изучении свойств сознания и эмоций. Результаты исследований могут быть использованы в различных сферах деятельности человека, имеющих отношение к психологии, искусствоведению, педагогике, к творческим специальностям.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, сенсорный центр, альфа-ритм, частота альфа-ритма, альфа-сканирование, альфа-стробирование, эквивалентный дипольный источник

ALPHA STROBING OF SIGNALS IN THE PRIMARY SENSORY AREAS OF THE CEREBRAL CORTEX

Koekina O.I.*Scientific Center for Consciousness Research, Moscow, e-mail: koekina@yandex.ru*

The aim of the work was to find and determine the method of processing sensory signals in the primary sensory areas of the cerebral cortex of certain types of perception: auditory, visual, kinesthetic. It is shown that the alpha rhythm is specific in limited frequency ranges in relation to the modality of sensory signals. Alpha rhythm with a frequency of 7–9 Hz refers to somatosensory, 9–12 Hz – to visual, 12–13 Hz and 7–9 Hz – to auditory perception. Equivalent dipole sources of alpha rhythm in the primary sensory area of the cortex, along the afferent pathways, in the structures of the limbic region and ascending nonspecific activation are combined into a system of channels for transmitting sensory signals of a separate modality in a single frequency range. The frequency specificity of the channels for the transmission of sensory signals for each modality can be due to gating – the allocation of an interval on the frequency scale to increase the probability of detecting useful signals against the background of interference. The assumption of ephaptic transmission in the brain environments of signals of different sensory modalities to the region of the dominant center has been confirmed. Ways of self-organization of the brain in the form of alpha gating and alpha scanning of activity in individual structures can be further developed in the study of the properties of consciousness and emotions. The results of the research can be used in various fields of human activity related to psychology, art history, pedagogy, and creative specialties.

Keywords: electroencephalogram, sensory center, alpha rhythm, alpha rhythm frequency, alpha scanning, alpha gating, equivalent dipole source

Интегральная деятельность мозга связана, прежде всего, с комплексными системами взаимодействия, определяемыми по разнообразным функциональным параметрам [1, 2]. В процессе нейрофизиологических исследований можно наблюдать как отдельные признаки взаимодействия в структурах мозга выстраиваются в алгоритмы выполнения тех задач, которые возникают перед субъектом [3]. Целью работы являлись поиск и определение алгоритма альфа-стробирования сигналов в первичных сенсорных зонах коры мозга отдельных видов восприятия: зрительного, слухового, соматосенсорного. Конкретной целью начального этапа данного исследования являлось выявление особенностей волновых колебаний

альфа-ритма, связанных с модальностью сенсорных сигналов.

Известно, что непосредственная передача внешних сигналов от органов восприятия к первичным сенсорным центрам коры мозга выполняется высокочастотными ритмами. Это показано методами вызванных потенциалов и смещением спектра ЭЭГ в высокочастотную область, включающую гамма- и бета-диапазоны ритмов [4, 5]. Однако значение в этом процессе колебаний альфа-диапазона ЭЭГ до сих пор остаётся дискуссионным. Представление о том, что альфа-ритм – это отображение сканирования зрительной коры, считывания с нее информации для последовательной передачи ее в другие кор-

ковые области было выдвинуто впервые в качестве идеи (Pitts, McCulloch, 1947). Позднее эта идея была подтверждена тщательными исследованиями альфа-ритма ЭЭГ как распространяющегося волнового процесса с одновременным смещением эквивалентного токового диполя альфа-волны [6, 7]. Важной особенностью упомянутых исследований было сопоставление модуляции альфа-волн световыми вспышками близкой частоты с возникновением зрительных образов, что подтверждало отношение альфа-ритма к сканированию зрительной информации в структурах первичного восприятия. При этом было показано также, что при совмещении локализации диполей альфа-волны с трехмерной моделью головы, построенной по данным магнитно-резонансной томографии, наблюдается их передвижение преимущественно вдоль шпорной борозды (стриарная кора или поле 17). Следовательно, в полном объеме результаты сканирования альфа-волной были получены на примере активности первичного центра зрительно-го анализатора в коре мозга.

С учётом результатов вышеописанных исследований автором настоящей работы продолжено изучение процессов сканирования в первичных центрах сенсорного восприятия и одновременно поставлен вопрос, может ли иметь значение частотная специфичность альфа-волн при передаче сигналов разной модальности (визуальной, аудиальной, кинестетической).

Таким образом, в данной работе предполагалось, что критерием оценки поступления специфических сигналов в первичные зоны и показателем межзональных взаимодействий могут служить параметры спектральных характеристик альфа-ритма ЭЭГ.

На особенности частотного спектра альфа-ритма ЭЭГ первым обратил внимание Н. Винер [8]. Он особо отметил то, что преобладающая часть мощности спектра ритмов мозга сосредоточена в окрестности частоты 10 Гц. Определив в энцефалограмме конкретного человека крутое падение мощности на частоте 9,05 Гц, достаточно устойчивое во времени, он отметил, что резкая линия смены частоты эквивалентна точным часам, обеспечивающим механизмы стробирования. Стробирование (англ. *strobing*, от *strobe* – посылать избирательные импульсы, от греч. *strobos* – кружение, беспорядочное движение), метод выделения некоторого интервала на временной оси, шкале частот и т.п. для увеличения вероятности обнаружения полезных сигналов на фоне помех [9].

При этом стробирование можно рассматривать как один из механизмов в развитии системы саморегуляции, так как позволяет осуществлять комбинирование действий в определяемых им интервалах времени.

Поэтому перед настоящим исследованием встала задача выяснить, может ли процесс стробирования, если он имеет место в альфа-диапазоне частот, обуславливать частотную специфичность для каждой отдельной зоны сенсорной модальности. Важно также понять и возможности взаимодействия между разномодальными зонами первичного восприятия с использованием эффекта стробирования.

Поставленная задача может быть выполнена, если предусмотреть участие испытуемых с относительно равномерно развитыми типами восприятия.

Для альфа-волн в каждой первичной зоне сенсорного восприятия наличие иной устойчивой доминирующей сенсорной модальности может влиять на поступление сигналов и их стробирование и сканирование. В исследовании необходимо было учитывать возможность возникновения увеличенного разброса данных при участии лиц с различными типами доминирующего восприятия. Поэтому для получения более устойчивых результатов из группы испытуемых были исключены лица с преобладающим доминированием той или иной сенсорной модальности: визуалы, аудиалы, кинестетики.

Таким образом, для выполнения поставленной задачи необходимо было ответить на следующие вопросы, имеющие непосредственное отношение к структуре исследования.

1. Какая частота альфа-ритма характерна для каждой зоны первичного восприятия?
2. Где располагаются источники происхождения альфа-ритма каждой корковой зоны первичного восприятия?
3. Как глубинные источники происхождения альфа-ритма проецируют активность в кору головного мозга?

Материалы и методы исследования

В исследовании участвовала группа добровольных испытуемых, занимающихся интеллектуальным трудом (30 чел., из них 17 женщин и 13 мужчин), в возрасте от 30 до 60 лет, не имеющих какой-либо доминирующей перцептивной модальности, проверенной по методике С. Ефремцева [10].

Для получения ответов на выше поставленные вопросы 1–3 была проведена регистрация электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в состоянии психической и мышечной релаксации с закрытыми глазами.

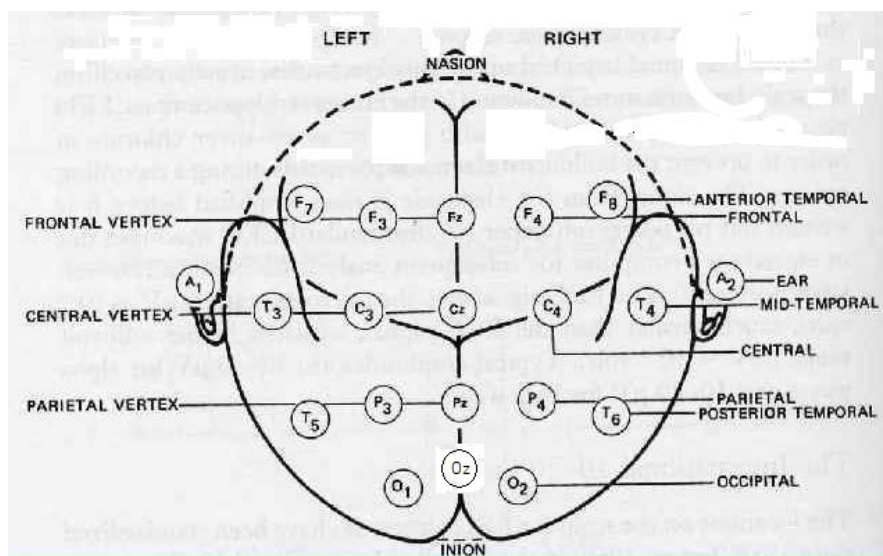


Рис. 1. Стандартное расположение электродов на поверхности головы по схеме 10/20

Регистрацию ЭЭГ проводили на 24-канальном нейровизоре NVX24 производства ООО «Медицинские компьютерные системы» с использованием стандартных монополярных отведений в соответствии с принятой международной схемой 10–20 [11].

Исследования проводились в стандартных условиях, одинаковых для всех испытуемых. Биопотенциалы мозга регистрировали при закрытых глазах в состоянии бодрствования с психической и мышечной релаксацией.

Во внимание принимались только статистически достоверные результаты группового обследования.

Система обработки данных

Основная цель обработки данных регистрации ЭЭГ заключалась в топической оценке спектральных характеристик альфа-ритма и нейрокартирования с частотным шагом 1 Гц в пределах всего диапазона альфа-колебаний 7–13 Гц. Рассматривалась также локализация центров электрической активности, ответственных за происхождение отдельных частот альфа-ритма. Для этого использовали пакеты компьютерных программ, обеспечивающих спектральный анализ регистрируемых сигналов и топографическое картирование спектральных характеристик ЭЭГ [12]. В результате получали распределение показателей мощности частотного спектра по отдельным областям на поверхности полушарий мозга. Использован статистический анализ данных для определения достоверности полученных как индивидуальных, так и групповых усреднённых результатов.

С целью выявления наиболее выраженных реакций вычисляли локализацию и распределение эквивалентных дипольных источников (ЭДИ) происхождения электрической активности в глубинных структурах мозга. Для этого определяли и отслеживали в объёме мозга человека локализацию ЭДИ, вычисляемых в каждый момент времени, равный дискретному интервалу отсчёта данных при вводе в компьютер. Программа использовалась для того, чтобы проследить возникновение центров электрической активности в структурах мозга [13].

Вопрос о соответствии локализации источников в глубинных структурах мозга той биоэлектрической активности, которая регистрировалась на поверхности головы, решался специальным алгоритмом, в котором рассматривались электрические свойства мозга как объёмного проводника [14, 15].

Результаты исследования и их обсуждение

Большинство людей имеют неустойчивые и низкие показатели доминанты, зависящие от ситуации в условиях меняющейся среды и психологического настроения. Испытуемые с устойчивыми и высокими показателями тестирования доминирующей перцептивной модальности (аудиалы, визуалы, кинестетики) по методике С. Ефремцева были исключены из группы исследования. Поэтому у испытуемых в состоянии психической и мышечной релаксации наблюдалось равновесие активности первичных зон сенсорного восприятия. Оно выражалось в соответствии между частотой альфа-ритма и его максимальной мощностью в соот-

ветствующей зоне поступления первичных сенсорных сигналов.

В настоящее время анатомически и функционально достаточно хорошо изучены области коры, которые отвечают за восприятие определённых ощущений, чувств, т.е. выделены первичные зоны зрительного, слухового, кинестетического восприятия. В норме амплитуда альфа-ритма отражает состояние готовности к повышению функциональной активности данной области коры мозга.

Следовательно, принимаем во внимание распределение максимумов спектральной мощности альфа-ритма у испытуемого в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах и определяем частоту альфа-ритма, характерную для каждого центрального анализатора органов чувств.

На рис. 2 видно, что усреднённые в группе испытуемых максимумы спектральной мощности альфа-диапазона распределились по зонам сенсорного представительства в соответствии с их функциональным значением. Альфа-ритм с максимальной мощностью над сенсомоторной корой имеет более низкую частоту 7–9 Гц, чем альфа-ритм с максимальной мощностью в затылочной области коры над первичной зоной зрительного восприятия 9–13 Гц.

В височных зонах первичного слухового восприятия у отдельных индивидуумов в состоянии покоя увеличивалась мощность не только на частоте 12–13 Гц, но и на частоте 7–8 Гц. Возможно, это связано с наличием двух потоков акустических сигналов и раздельных центров восприятия. Первый – сформированный благодаря воздушной проводимости звука через наружный слуховой проход, барабанную перепонку и цепь слуховых косточек; второй – благодаря тканевой проводимости через ткани черепа.

Для подтверждения принадлежности альфа-ритма определённой частоты к передаче сигналов соответствующего вида ощущений была определена локализация эквивалентных дипольных источников (ЭДИ) происхождения альфа-колебаний в афферентных системах нервных путей и в промежуточных ядрах, через которые проходят сигналы выбранной сенсорной модальности.

На рис. 3 представлены результаты анализа на примере полученных данных испытуемого И. Проведено сопоставление локализации ЭДИ альфа-ритма в глубинных структурах мозга с распределением спектральной мощности альфа-ритма на поверхности коры. Рисунки 3.1 и 3.2 показывают, что альфа-ритм частотой 7–8–9 Гц имеет максимальную спектральную мощность в центральной области коры мозга, где представлены первичные зоны соматосенсорного восприятия – поля 1, 2, 3 по Бродману [15]. ЭДИ этого альфа-ритма локализуются там же, преимущественно в первичных полях по Бродману 1, 2, 3, но они также распределяются по ходу афферентных сигналов в ядрах таламуса и в лимбической области коры мозга в полях по Бродману 23, 25, 27 и 30, 31, которые тесно связаны с развитием эмоций и исполнением инстинктивного поведения. Более высокая плотность ЭДИ наблюдается в ядрах таламуса – основных структурах переключения потоков сенсомоторных сигналов. Нужно подчеркнуть, что речь идёт об ЭДИ происхождения альфа-волн одинаковой частоты 7–8–9 Гц как в центре соматосенсорного восприятия в коре мозга, так и в глубинных структурах, через которые в кору поступают афферентные сигналы той же соматосенсорной модальности. Это может означать, что вся система каналов передачи соматосенсорных сигналов работает в диапазоне 7–8–9 Гц.

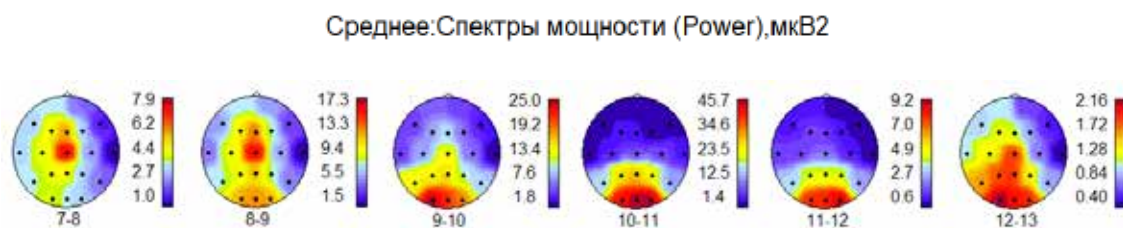


Рис. 2. Результаты группового анализа спектральной мощности альфа-ритма. Максимум мощности ритма 7–9 Гц наблюдается в сенсомоторных зонах, ритма 9–12 Гц – в зрительных зонах коры. Первичные зоны слухового восприятия в височных областях имеют повышенную мощность альфа-ритма на частоте 12–13 Гц. Справа от карты коры мозга – шкала величин мкВ² спектральной мощности альфа-ритма, внизу – частота альфа-ритма в Гц.
(Карту коры мозга и распределение электродов для регистрации ЭЭГ см. на рис. 1)

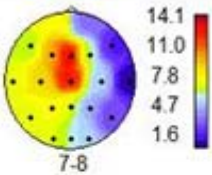
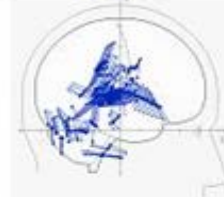
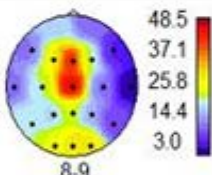
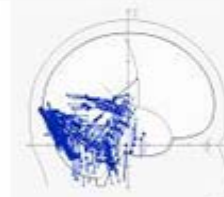
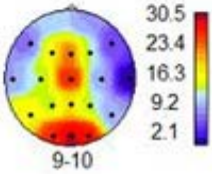
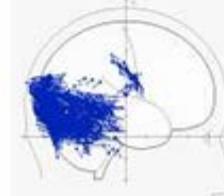
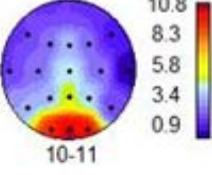
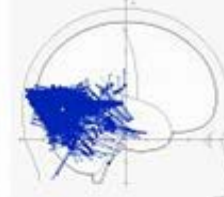
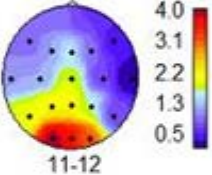
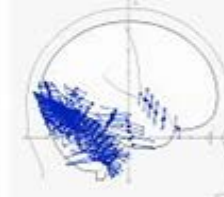
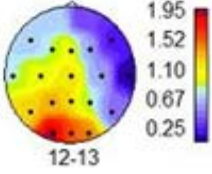
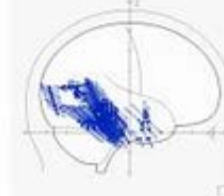
1	2	3	4	5
АЛЬФА ПЦ	РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ	ФОН РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДИ КД=0,98	ФОНРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДИ С ВЕКТОРАМИ КД=0,98	ПОЛЯ БРОДМАНА И АНАТОМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ МОЗГА
7-8				Ba DEX: 25, 31, 23 Ba SIN: 25, 32, 27, 31, 30, 37 DEXTRUM: Caput nuclei caudati, Nucleus anterior ventralis, Nucleus medialis dorsalis, Nucleus ventrolateralis SINISTRUM: Caput nuclei caudate, Nucleus posterior ventromedialis, Pulvinar Thalami, Corpus Mammillare
8-9				Ba DEX: 35, 19, 31, 30, 18, 17 Ba SIN: 29, 35, 17, 18 DEXTRUM: Substantia Nigra, Nucleus Ruber, Cuneus SINISTRUM: Mesencephalon, Gyrus parahippocampalis, Varolius, Pulvinar Thalami, Cuneus
9-10				Ba DEX: 36, 20, 19, 31, 29, 23, 30, 18, 17 Ba SIN: 31, 24, 23, 27, 18, 30, 19, 17 DEXTRUM: Gyrus parahippocampalis, Gyrus Lingualis SINISTRUM: Nucleus Caudatus, Nucleus centromedianus, Nucleus anterior, Nucleus medialis dorsalis
10-11				Ba DEX: 23, 27, 30, 18, 17, 19 Ba SIN: 18, 30, 31, 30, 17, 19 DEXTRUM: Nucleus posterior lateralis, Pulvinar Thalami, Gyrus parahippocampalis, Cauda nuclei caudati, Hippocampus, Gyrus Lingualis, Cuneus SINISTRUM: Gyrus Lingualis, Cuneus
11-12				Ba DEX: 19, 18, 17, 27, 30, 35 Ba SIN: 47, 20, 21, 17, 18, 23, 31 DEXTRUM: Cuneus SINISTRUM: Putamen, Globus Pallidus medialis, Caput nuclei caudate, Gyrus Lingualis
12-13				Ba DEX: 36, 30, 17, 18, 23, 31 Ba SIN: 17, 18, 31 DEXTRUM: Gyrus parahippocampalis SINISTRUM: Varolius, Mesencephalon

Рис. 3. Испытуемый И. Обозначения столбцов: 1 – частота анализируемого альфа-ритма; 2 – пример распределения спектральной мощности альфа-ритма на поверхности мозга; 3 – локализации ЭДИ происхождения альфа-волн; 4 – локализация тех же ЭДИ с векторами; 5 – анатомическое обозначение локализации ЭДИ

Важно обратить внимание на направленность векторов ЭДИ, локализованных в глубинных структурах мозга: эти вектора направлены в сторону центральных областей коры с сенсомоторными зонами первичного восприятия и этим обуславливают повышение спектральной мощности именно в этих зонах [14].

Рассмотрение спектральных характеристик альфа-ритма частотой 9–10–11–12 Гц позволяет получить убедительные сведения в пользу преимущественного распределения максимумов в затылочной области коры. ЭДИ этого ритма, особенно на частоте 9–10–11 Гц, локализуются в повышенном количестве в первичных и вторичных зонах зрительного восприятия (в полях по Бродману 17, 18, 19), включая *Gyrus Lingualis* и *Cuneus*. Они также широко представлены в лимбической системе, в структурах основания мозга, которые отвечают за эмоциональный контроль и запоминание. А также ЭДИ этого ритма распределяются в структурах системы восходящей неспецифической активации ствола мозга и *Mesencephalon*. В данной системе зрительного восприятия каналы передачи зрительных сигналов работают в том же частотном диапазоне альфа-ритма. В глубинных структурах вектора ЭДИ альфа-ритма частотой 9–10–11–12 Гц в основном направлены к поверхности зрительной коры.

Несколько иначе (рис. 3.2) представлена активность альфа-ритма частотой 12–13 Гц. Распределение спектральной мощности этого ритма показывает максимум не только в зрительной коре, но и в височной области, где расположены зоны первичного слухового восприятия. Концентрация ЭДИ этого ритма приближена к внутренним структурам височной области. Глубинные ЭДИ расположены в стволовых ядрах системы восходящей неспецифической активации коры и в лимбической системе, контролирующей эмоции и свойства памяти. Вектора ЭДИ направлены к поверхности как височных, так и затылочных зон коры мозга.

С другой стороны, выше было отмечено, что в корковых центрах слухового восприятия наблюдается также увеличение мощности альфа-ритма частотой 7–8 Гц. То, что это происходит в височной области (поле 37 по Бродману), где располагается акустико-гностический сенсорный центр речи (Вернике) слева, показано на рис. 3.2.

Этот центр контролирует речевые процессы и ответственен за понимание речи. ЭДИ этого альфа-ритма (рис. 3.3 и 3.4) локализуются в области задних отделов верхней височной извилины слева. Вектора ЭДИ

направлены к поверхности височной коры и способствуют увеличению спектральной мощности альфа-ритма на частоте 7–8 Гц.

Альфа-волны, ЭДИ которых локализуются непосредственно в слуховых центрах в височной области коры и в глубинных структурах, показывают для слухового восприятия два частотных диапазона: 7–8–9 Гц и 12–13 Гц. Вектора ЭДИ в каждом частотном диапазоне направлены к поверхности височной коры.

Итак, можно выделить следующие признаки системной деятельности мозга в процессе сенсорного восприятия той или иной модальности.

- Выраженные соотношения между частотой альфа-ритма и модальностью сигналов. Альфа-ритм частотой 7–9 Гц относится к соматосенсорному, 9–12 Гц – к зрительному, 12–13 Гц и 7–9 Гц – к слуховому восприятию.

- ЭДИ альфа-ритма, локализованные в первичной сенсорной зоне коры, по ходу афферентных путей, в структурах лимбической области и восходящей неспецифической активации, объединяются в систему каналов передачи сенсорных сигналов отдельной модальности в едином частотном диапазоне.

- ЭДИ альфа-ритма, объединённые в систему каналов, имеют направления векторов преимущественно в сторону первичного центра сенсорного восприятия той же модальности.

- При высоком уровне дипольности размерность электрических полей ЭДИ достаточна, чтобы достичь поверхности коры. Кроме того, отмечено [14], что соотношения глубинных и поверхностных скальповых потенциалов $U_{\text{глуб}}/U_{\text{скальп}}$ для альфа-ритма наиболее оптимальны и составляют только 1,2–1,5/1. Напротив, для дельта- и тета-активности они составляют от 4/1 до 18/1 и даже до 80/1, что затрудняет обнаружение дельта- и тета-волн глубинного происхождения на поверхности коры. По всей вероятности, эфapticкое распространение и тонические влияния альфа-колебаний в среде мозга не только обеспечивают повышение возбудимости ассоциативных путей для передачи информации из одной области в другую, но и способствуют формированию специфической активности с воссозданием внутренних образов.

- Частотная специфичность каналов передачи сенсорных сигналов для каждой модальности может быть обусловлена стробированием – выделением интервала на шкале частот для увеличения вероятности обнаружения полезных сигналов на фоне помех

[8, 9]. Функция стробирования необходима в процессе сканирования с помощью электрических альфа-волн [6, 7], которые могут распространяться непосредственно в средах мозга, влияя на состояние возбудимости мембран отдельных элементов нейронных сетей.

– Эквивалентные дипольные источники происхождения альфа-ритма ЭЭГ с высоким коэффициентом дипольности ($KD \geq 0,98$) рассматриваются как наиболее активные локальные зоны, запускающие последовательное перемещение волновых процессов альфа-колебаний. Эти колебания разности электрических потенциалов оказывают непосредственное влияние на организацию первичного восприятия в центральных анализаторах и могут сопровождать сканирование и стробирование с переносом информации в ассоциативные зоны построения сложных образов.

Заключение

Таким образом, были не только подтверждены известные данные о зонах первичного восприятия коры мозга, но и определены конкретные функциональные параметры рассматриваемых нейросистем в виде частотного стробирования в диапазоне альфа-ритма, которые могут быть использованы как алгоритмический инструмент для изучения более сложных нейрофизиологических процессов. Предполагается, что этот инструмент может быть применим для получения объективных данных о свойствах сознания человека, эмоциональном состоянии и о некоторых психофизиологических функциях.

Данное исследование проводилось в рамках проекта «EMUSE.Neuro» (г. Москва, Лаборатория Хаоса «ChaosLab» – изучение и прогнозирование поведенческих закономерностей хаотических потоков и нейро-алгоритмов эмоционального интеллекта, руководитель и инициатор проекта – Александр Кузьяев).

Список литературы

1. Петренко В.Ф. Многомерное сознание: психосемантическая парадигма. М.: Эксмо, 2013. 446 с.
2. Коёкина О.И. Способности к интегральному телесному восприятию и ясновидению у народных целителей (нейрофизиологические исследования) // The Unity of Science. 2017. № 4. С. 91–96.
3. Бушов Ю.В., Светлик М.В. Фазовые взаимодействия между ритмами ЭЭГ: связь с когнитивными процессами и механизмами сознания // Биологические науки. 2013. № 2. С. 79–82.
4. Koekina O.I., Kuziaev A.E. EEG Spectral Response to Listening to Musical Melodies Expressing Emotional States. International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT). 2020. Vol. 9. No. 12. P. 604–610. DOI: 10.17577/IJERTV9IS120258.
5. Богданов А.В. Физиология центральной нервной системы и основы адаптивных форм поведения. М.: Юрайт, 2019. 351 с.
6. Шевелёв И.А. Волновые процессы в зрительной коре мозга // Природа. 2001. № 12. URL: http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/NATURE/12_01/ALPHA.HTM (дата обращения: 17.07.2022).
7. Барк Е.Д. Исследование альфа-ритма ЭЭГ как распространяющегося волнового процесса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2006. 18 с.
8. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. Второе издание. М.: Наука, 1983. 341 с.
9. Стробирование. [Электронный ресурс]. URL: <https://slovaronline.com/browse/1f0474b9-531b-38c5-b92a-7af-9ee04e51c/стробирование> (дата обращения: 17.07.2022).
10. Тест аудиал, визуал, кинестетик. Диагностика доминирующей перцептивной модальности С. Ефремцева. (Методика ведущий канал восприятия). [Электронный ресурс]. URL: <https://psycabi.net/testy/289-test-audial-vizual-kinestetik-dagnostika-dominiruyushchej-pertseptivnoj-modalnosti-s-efremtseva> (дата обращения: 17.07.2022).
11. Homan R.W., Herman J., Purdy P. Cerebral location of international 10–20 system electrodes placement. EEG and Clinical Neurophysiology. 1987. Vol. 66. P. 376–382.
12. Митрофанов А.А. Компьютерная система анализа и топографического картирования электрической активности мозга «Brainsys». Статокин, 2019. С. 65.
13. Коптелов Ю.М. Исследование и численное решение некоторых обратных задач электроэнцефалографии: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва, 1988. 29 с.
14. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). М.: «МЕД-пресс-информ», 2004. 624 с.
15. Цитоархитектонические поля по Бродману их локализация, функции и нарушения. [Электронный ресурс]. URL: <https://infotables.ru/meditsina/1101-polya-po-brodmanu> (дата обращения: 17.07.2022).

СТАТЬИ

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ МАЛЫХ ТОЛЩИН¹Арутюнов Ю.А., ²Белев В.В., ³Меликов Е.Р., ⁴Цыбин А.Н., ⁵Чашин Е.А.¹ООО «Двойная спираль», Москва, e-mail: double-spiral@yandex.ru;²СП ООО «Бернхард Шульте Шипменеджмент», Неа Иония, Греция, e-mail: belev.vladimir@gmail.com;³ООО «Объединенная сетевая компания-Юг», Москва, e-mail: e.r.melikov@gmail.com;⁴ООО «Цайняо Саплай Чейн Менеджмент (РУ)», Москва, e-mail: 9959995599@mail.ru;⁵ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева», Ковров, e-mail: kanircha@list.ru

В статье, пренебрегая нарушением защитных покрытий, рассмотрены особенности выполнения посредством ручной дуговой сварки неразъемных соединений встык и внахлест легких стальных тонкостенных конструкций, изготовленных из оцинкованного холоднокатаного стального проката толщиной 0,7-1,5 мм. На примере аппарата ручной дуговой сварки типа DC/Arc SM-160, в приближении сварки постоянным током рассмотрены вопросы повышения устойчивости и стабильности процесса ручной дуговой сварки электродами с рутиловым или основным покрытием при выполнении операций стыковой сварки и сварки внахлест стальных толщин до 1 мм. В приближении постоянства скорости линейного перемещения электрода выполнена оценка возможности сохранения инвариантности тепловой мощности источника при изменении зазора между концом плавящегося электрода и сварочной ванной, в диапазоне 1-2,4 мм путем уменьшения скорости изменения силы. Показано, что решение задачи ограничения скорости изменения силы тока традиционным методом добавления катушки индуктивности не целесообразно, т.к. масса добавочной катушки будет превышать массу сварочного аппарата более чем в 3 раза. В работе предложен и экспериментальным путем оценен способ ограничения скорости изменения силы тока путем доработки сварочного инвертора, а именно уменьшение скорости изменения тока за счет увеличения длительности фронтов сигнала с датчика тока, штатно установленного в цепи обратной связи инвертора.

Ключевые слова: сварка, неразъемное соединение, металл малой толщины, инвертор, электронный преобразователь, ток

INCREASING THE STABILITY AND STABILITY OF THE PROCESS OF MANUAL ARC WELDING OF METALS OF SMALL THICKNESSES¹Arutyunov Yu.A., ²Belev V.V., ³Melikov E.R., ⁴Tsybin A.N., ⁵Chashchin E.A.¹LLC «Double spiral», Moscow, e-mail: double-spiral@yandex.ru;²SP LLC Bernhard Schulte Shipmanagement, Nea Ionia, Greece, e-mail: belev.vladimir@gmail.com;³ООО «United Network Company-South», Moscow, e-mail: e.r.melikov@gmail.com;⁴ООО «Tsainiao Saplai Chain Management (RU)», Moscow, e-mail: 9959995599@mail.ru;⁵Kovrov State Technological Academy, Kovrov, e-mail: kanircha@list.ru

In the article, neglecting the violation of protective coatings, the features of performing by means of manual arc welding of permanent butt and lap joints of light thin-walled steel structures made of galvanized cold-rolled steel with a thickness of 0.7-1.5 mm are considered. Using the example of a DC/Arc SM-160 type manual arc welding machine, in the approximation of direct current welding, the issues of increasing the stability and stability of the process of manual arc welding with rutile or basic coated electrodes during butt welding and lap welding of steels up to 1 mm thick are considered. In the approximation of the constancy of the rate of linear movement of the electrode, an assessment was made of the possibility of maintaining the invariance of the thermal power of the source when the gap between the end of the melting electrode and the welding bath changes, in the range of 1-2.4 mm by reducing the rate of force change. It is shown that the solution of the problem of limiting the rate of change of the current strength by the traditional method of adding an inductor is not advisable, because the mass of the additional coil will exceed the mass of the welding machine by more than 3 times. The paper proposes and experimentally evaluates a method for limiting the rate of change in current strength by refining the welding inverter, namely, reducing the rate of current change by increasing the duration of the signal fronts from the current sensor normally installed in the feedback circuit of the inverter.

Keywords: welding, all-in-one connection, low-thickness metal, inverter, electronic converter, current

В последнее время при изготовлении строительных и монтажных конструкций широкое распространение получили легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), изготовленные из оцинкованного холоднокатаного стального проката толщиной 0,7-1,5 мм. Однако выполнение неразъемных соединений профилей ЛСТК

посредством ручной дуговой сварки затруднено. Последнее вызвано не столько нарушением защитного покрытия, предотвращающего окисление в зоне обработки, сколько тем, что формирование качественного неразъемного соединения, отличающегося отсутствием разбрызгивания, прожога или непровара, возможно, если расстояние

l_0 между концом плавящегося электрода и сварочной ванной, при постоянной скорости перемещения электрода, поддерживается неизменным и удовлетворяющим известной зависимости [1]:

$$l_0 = (0,5 \div 1,2)d_s, \quad (1)$$

где d_s – диаметр плавящихся электродов.

В соответствии с нормативными требованиями предъявляемыми к электродам для дуговой сварки, установленными ГОСТ 2246-70, размер d_s определяется сортаментом проволоки, из которой изготавливаются плавящиеся электроды, и выбирается из стандартного ряда, шаг которого связан с величиной тока, достаточного для плавления электрода диаметром d_s . В случае сварки профилей ЛСТК, выполненных из проката толщиной до 1,5 мм, для изготовления электродов должны применяться проволоки с d_s номинального размера 1,6 мм. Однако при выполнении операции ручной дуговой сварки покрытыми электродами, при выборе диаметра проволоки для электрода, кроме ограничений по току, на сечение накладываются ограничения, связанные с обеспечением механической прочности и жесткости. В связи с этим, согласно сведениям действующего реестра сварочных материалов [2], электроды с рутиловым или основным покрытием, широко применяемые при ручной дуговой сварке, изготавливаются из проволоки, размер d_s должен приниматься не менее 2,0 мм. Несложно видеть, что минимальное значение тока, при котором металл с конца расплавляемого электрода переходит в сварочную ванну, формируя неразъемное соединение, при выполнении операции ручной дуговой сварки с использованием электрода диаметром 2 мм с рутиловым или основным покрытием, будет выше аналогичных значений, чем для электрода с диаметром 1,6 мм, т.к. площадь сечения проволоки, из которой изготавливается плавящийся электрод, будет отличаться в 1,6 раза.

Учитывая, что формирование качественного сварного соединения, исключающего разбрызгивание и прожог, возможно только при соответствии темпа ввода энергии в металл теплофизическим процессам в ванне расплава, в соответствии с приведенной зависимостью (1) получаем, что зазор между концом непрерывно расплавляемого электрода и изделием должен составлять 1-2,4 мм. Исследования, выполненные нами ранее [2], показали, что при выполнении сваркой неразъемных соединений проката толщиной 0,7-1,5 мм процессами изменения гидродинамического давления дуги, вызываемого конвекцией в ванне расплава,

можно пренебречь. Это позволяет считать постоянным объем ванны расплава в процессе дуговой сварки. Принимая, что теплофизические процессы в ванне расплава при прочих равных условиях определяются толщиной свариваемых изделий и остаются постоянными. Таким образом, если расстояние между концом электрода и ванной расплава отличается от указанного интервала, то изменение разности потенциалов приводит к изменению темпа ввода энергии и, как следствие, сопровождается возникновением разбрызгивания, прожога или непровара.

В настоящее время при выполнении операции ручной дуговой сварки контроль расстояния между плавящимся электродом и ванной расплава осуществляется сварщиком косвенно по результатам визуального наблюдения за процессом горения дуги. Однако визуальное наблюдение при выполнении операции ручной дуговой сварки позволяет обеспечить эффективную корректировку зазора, вызванную угаром электрода, при значениях l_0 , составляющих 4-5 мм [3]. Механизация основных работ, выполняемых при ручной дуговой сварке плавящимся электродом, также не позволяет обеспечить в процессе сварки постоянство зазора между концом непрерывно расплавляемого электрода и изделием [4].

Таким образом, при выполнении неразъемных соединений профилей ЛСТК, изготовленных из проката толщиной 0,7-1,5 мм посредством ручной дуговой сварки возникает противоречие между требованиями, предъявляемыми к корректировке зазора между концом плавящегося электрода и сварочной ванной, и требованием к обеспечению согласования темпов ввода энергии в ванну расплава. Это делает актуальным решение задачи совершенствования сварочных инверторов.

Целью исследования является оценка возможности поддержания постоянства тепловой мощности источника при изменении зазора l_0 в диапазоне 1-2,4 мм путем доработки сварочного инвертора, обеспечивающей уменьшение величины сварочного тока при увеличении длины дуги, величина которой определяется зазором между концом плавящегося электрода и сварочной ванной, и увеличение величины сварочного тока при уменьшении зазора.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим выполнение операции получения неразъемных соединений профилей ЛСТК, выполненных встык и внахлест посредством ручной дуговой сварки с помощью сварочного инвертора марки DC/Arc

SM-160. В работе принимаем, что профили ЛСТК выполнены из стального проката толщиной 1 мм. Технологический процесс ручной дуговой сварки выполняется постоянным током обратной полярности и предполагает, что все этапы операции сварки, такие как зажигание дуги, сохранение ее длины за счет поддержания неизменной величины зазора l_0 по мере расплавления электрода, подача и перемещение электрода вдоль свариваемых кромок, выполняются вручную [5]. В соответствии с требованиями нормативных документов ГОСТ 5264-80, ГОСТ 11534-75, ГОСТ 16037-80 под основными параметрами, определяющими качество формируемого неразъемного соединения, принимаем: диаметр электрода d_e , силу сварочного тока $I_{св}$, напряжение дуги U_0 и скорость сварки.

Известно [6], что напряжение должно выбираться из условия возбуждения дуги в момент отрыва электрода, минимальное значение $I_{св}$, определяют по способности расплавлять стальную проволоку плавящегося электрода, а максимальное значение $I_{св}$ ограничено прожогом свариваемого металла. В работе будем считать напряжение U_0 и скорость сварки $v_{св}$ постоянными, диаметр d_e электрода составляет 2 мм, ток $I_{св}$ меняется в диапазоне 25-35 А.

При работе оператора, обеспечивающего пространственное положение электрода относительно заготовки в диапазоне 1-2,4 мм, дуга горит устойчиво и сварочный шов получается качественным. Увеличение зазора l_0 выше рассчитанных по формуле (1) пределов сварщик контролирует визуально по прекращению дуги. Поэтому, с точки зрения получения качественных неразъемных соединений, наиболее критичным является процесс сокращения расстояния l_0 меньше заданного диапазона. При уменьшении зазора l_0 ток $I_{св}$ возрастает до уровня, соответствующего короткому замыканию. Быстрое изменение значений $I_{св}$ сопровождается увеличением сжимающего действия электромагнитных сил, действующих на перемычку из жидкого металла, образующуюся между электродом и поверхностью свариваемых деталей. Это, в свою очередь вызывает разбрызгивание и выплеск металла с поверхности ванны расплава. Поэтому традиционный способ [7] повышения качества неразрывных соединений при ручной дуговой сварке заключается в уменьшении сжимающего усилия путем ограничения скорости изменения $I_{св}$ включением в цепь катушки индуктивности. В работе принимаем, что время изменения силы тока, вызванное угаром электрода и тремором руки

при его механической компенсации, составит 1 мс. А также полагая, для упрощения расчетов, колебания с изменением силы тока по амплитуде в диапазоне 10% равным $\Delta I = 2,5...3,5$ А, можно считать, что индуктивность катушки должна составлять:

$$L = \frac{U \cdot t}{\Delta I} = \frac{(25...20) \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{(2,5...3,5)} = (5,7...10) \cdot 10^{-3} \text{ Гн.} \quad (2)$$

В дальнейших расчетах принимаем усредненное значение (2) и будем считать, что индуктивность катушки составит 8 мГн. Оценим по известному алгоритму [8] массогабаритные параметры катушки индуктивности с L равной 8 мГн. При выполнении расчета принимаем, что ток короткого замыкания достигает 35 А. Диаметр провода, которым обмотана катушка индуктивности, выбираем из условия протекания тока короткого замыкания, и в соответствии с рекомендациями ПУЭ принимаем равным 5 мм. С учетом принятых значений индуктивность 8 мГн достигается при намотке медного провода длиной 170-190 м. Расчет массы катушки индуктивности, выполненный по известной методике [9], даже без учета веса диэлектрического каркаса, на который наматывается провод, и изоляции провода, показал, что масса катушки индуктивности достигает 27 кг. Учитывая, что масса сварочного аппарата типа DC/Arc SM-160 не превышает 9 кг, видно, что использование традиционного метода уменьшения сжимающего усилия, возникающего при коротком замыкании, включением катушки индуктивности в силовую цепь электропитания нецелесообразно, т.к. масса устройства с учетом сварочного аппарата в этом случае увеличивается в 4 раза и превышает значение, комфортное для переноски оператором.

В базовом варианте (без коррекции) сварочный инвертор (рис. 1) состоит из сетевого выпрямительного блока 1, низкочастотного фильтра 2, инвертора 3 и блока силовых вентилях 4, постоянный ток с которого подается на дугу. Величина тока дуги определяется генератором ШИМ 11, управляющего через драйвер 12 по сигналам от тактового генератора 10 работой инвертора 3.

В работе полагаем, что возможность уменьшения сжимающего усилия путем ограничения скорости изменения $I_{св}$ может быть реализована путем «сглаживания» сигнала с датчика тока ДТ (рис. 1), управляющего работой ШИМа, а следовательно, и тока $I_{св}$.

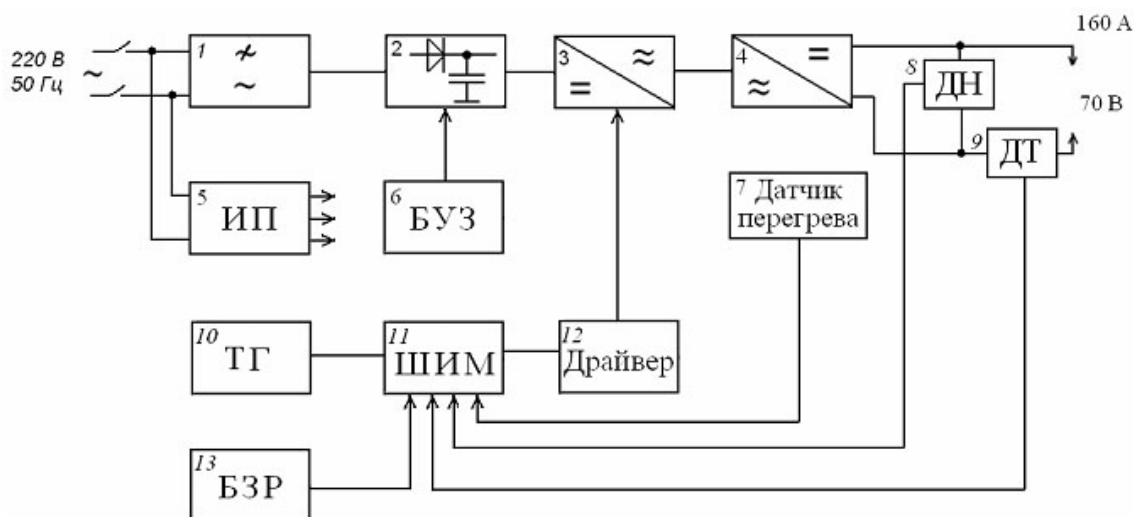


Рис. 1. Структурная схема сварочного аппарата: ИП – источник питания; ТГ – тактовый генератор; БЗР – блок запрета/разрешения работы ШИМ; БУЗ – блок управления задержкой; ДН – датчик напряжения в зоне сварки; ДТ – датчик тока в зоне сварки

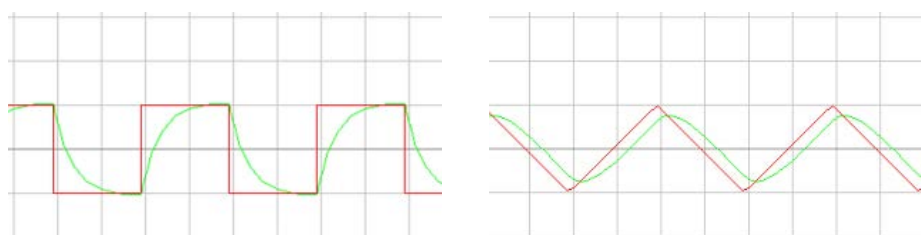


Рис. 2. Сигнал, имитирующий закон изменения дугового промежутка: красный – базовый вариант сигнала, зеленый – после коррекции

Коррекцию сигнала ДТ выполняли введением корректирующего устройства в цепь сигнала с датчика тока. Работа корректирующего устройства основана на уменьшении скорости изменения сигнала с ДТ (рис. 1). При моделировании принимали мгновенный и пилообразный законы изменения сигнала (рис. 2).

Экспериментальная оценка изменения амплитуды колебаний тока, вызванной изменением дугового промежутка из-за угара электрода и дрожания руки сварщика, выполнялась путем измерения напряжения на шунте, установленном в электрическую цепь непосредственно между сварочным инвертором и электродом.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты экспериментов по оценке изменения тока при сварке стальной полосы (материал : сталь 20) толщиной 1 мм встык и внахлест приведены на рисунке 3.

Видно, что амплитуда колебаний $I_{св}$, вызванная изменением длины дугового промежутка вследствие влияния угара электрода и дрожания руки сварщика (измерение вольтметром на шунте), при сварке примерно в 2-2,5 раза меньше при использовании коррекции в цепи ДТ (рис. 1): при сварке внахлест наблюдается уменьшение амплитуды колебаний в 2,3 раза, с 14 В до 6 В, при сварке встык амплитуда меняется в 2 раза, с 10 В до 5 В соответственно. Ниже приведены фотографии сварных швов при сварке внахлест и встык.

Видно (рис. 4), что при сварке внахлест визуально шов более ровный при коррекции тока, это подтверждает, что имеет место уменьшение сжимающего усилия, возникающего при коротком замыкании путем ограничения скорости изменения силы тока. Однако основным критерием при сварке внахлест является количество прожогов/непроваров, которое в обоих случаях визуальных отличий не имеет.

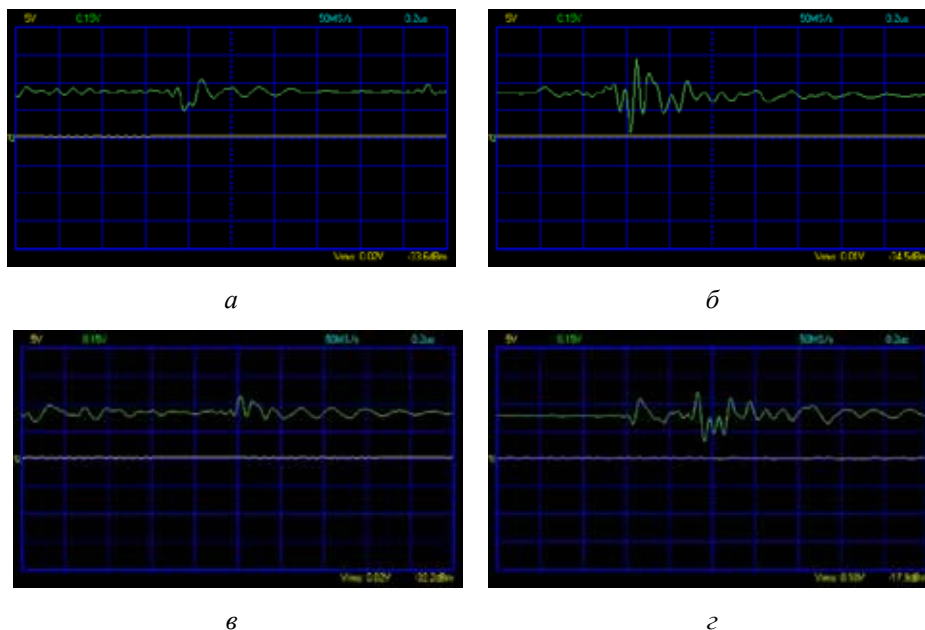


Рис. 3. Осциллограмма сигнала:
 а – сварка внахлест; б – сварка внахлест (базовый вариант);
 в – сварка встык; г – сварка встык (базовый вариант)

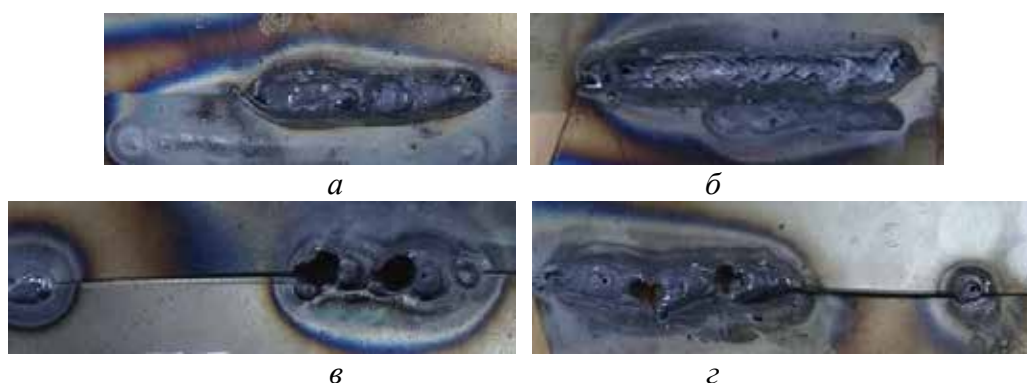


Рис. 4. Фотографии сварных швов внахлест (а, б) и встык (в, г):
 а, в – базовый вариант; б, г – с коррекцией

При сварке встык шов некачественный в обоих случаях, наблюдаются прожоги. Несмотря на то что при коррекции количество прожогов меньше, их количество не позволяет считать шов качественным в результате требования ГОСТ, согласно которому усилие на разрыв сварного соединения должно составлять не менее 90% от усилия на разрыв для сплошного металла, что не выполняется в обоих случаях стыковой сварки.

Заключение

В работе проведены сравнительные испытания эффективности компенсационно-

го управления динамическими свойствами источника питания. Показано, что коррекция сигнала ДТ позволяет «сгладить» угар электрода и произвольные движения руки сварщика, изменяя амплитуду пульсаций тока дуги в 2-2,5 раза. Однако «сглаживание» пульсаций сигнала ДТ при выполнении сварных соединений носит индивидуальный характер, зависит от марки свариваемой стали, марок используемых электродов и ряда других факторов. Поэтому качество получаемых соединений в значительной степени продолжает зависеть от квалификации сварщика и его

опыта работы со сварочными инверторами. Для повышения эффективности работы при сварке малых толщин целесообразным представляется коррекция сигнала не только на выходе с датчика тока, но и на этапе ШИМ-преобразований, для чего требуется вносить изменения в алгоритм и детальное описание схмотехнических решений, используемых в электронном преобразователе тока для аппарата ручной дуговой сварки типа DC/Arc SM-160.

Список литературы

1. Щекин В.А. Технологические основы сварки плавлением: учебное пособие / науч. ред. В. Ф. Лукьянов. 3-е изд., перераб. М.-Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 244 с.
2. Арутюнов Ю.А., Дробязко А.А., Чашин Е.А., Шапок П.А., Шилов И.В., Фероян А.А. Математическая модель коррекции тока для компенсации изменения высоты электрода в процессе ручной дуговой сварки // Наукоедение. 2017. Т. 9. № 2. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/18TVN217.pdf> (дата обращения: 20.07.2022).
3. Кривцун И.В., Хаскин В.Ю., Коржик В.Н., Цзыи Ло. Промышленное применение гибридной лазерно-дуговой сварки // Автоматическая сварка. 2015. № 7. С. 44-50.
4. Лебедев В.К., Кучук-Яценко С.И., Четвертко А.И. и др. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Оборудование для сварки. Т. IV-6 / Под ред. Б.Е. Патона. 1999. 496 с.
5. Сварка и свариваемые материалы: в 3-х т. Т.П. Технология и оборудование: справ. изд. / Под ред. В.М. Ямпольского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. 574 с.
6. Тимошенко В.П., Радченко М.В. Ручная дуговая сварка: учебное пособие / под общ. ред. М. В. Радченко. М.-Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 264 с.
7. Шандриков А.С. Электрорадиоэлементы и устройства функциональной электроники: учебное пособие. Минск: РИПО, 2020. 337 с.
8. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: учебное пособие. Изд. 3-е стер. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2020. 464 с.
9. Арутюнов Ю.А., Балашова С.А., Чашина Е.Е., Шеманаева Л.И. Ручная дуговая сварка тонколистового металла // Вестник Евразийской науки. 2018. № 2. URL: <https://esj.today/PDF/45SAVN218.pdf> (дата обращения: 20.07.2022).

УДК 533.9

СИНТЕЗ КАРБИДОВ И ОКСИКАРБИДОВ ТИТАНА В АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДА

¹Гумовская А.А., ^{1,2}Поваляев П.В., ¹Калтаев А.Ж., ^{1,2,3}Ларионов К.Б.

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск,
e-mail: azk2@tpu.ru;

²ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», Кемерово;

³ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС», Москва

В данной работе показана возможность синтеза материала на основе графита, оксикарида и карбида титана в результате использования техники плазменного дугового разряда постоянного тока на смесь исходных материалов в атмосфере воздуха: древесного угля и диоксида титана. Древесный уголь был получен с помощью пиролиза древесных опилок сосны при температуре 400°C. Графитовые катод и анод, подключенные к источнику постоянного тока, являются основными элементами стенда. Анод выполнен в форме стержня, а катод выполнен в форме тигля, в него засыпается смесь порошков диоксида титана и древесного угля. Синтез осуществлялся непосредственно в графитовом тигле, за счет активной генерации газов монооксида и диоксида углерода. Облако из этих газов предотвращает попадание кислорода воздуха в реакционную зону, в результате чего продукт синтеза не окисляется полностью. По данным рентгеновской дифрактометрии в продукте синтеза присутствуют фазы графита, карбида титана, оксикарида титана, диоксида титана. Наличие оксикарида обуславливается тем, что сбор продукта синтеза осуществлялся с горловины графитового тигля. Данные качественного энергодисперсионного анализа химического состава подтверждают результаты рентгеновской дифрактометрии.

Ключевые слова: оксикарид, древесный уголь, диоксид титана, электродуговая плазма, биомасса

SYNTHESIS OF TITANIUM CARBIDES AND OXYCARBIDES IN ATMOSPHERIC ARC PLASMA USING ORGANIC CARBON SOURCES

¹Gumovskaya A.A., ^{1,2}Povalyayev P.V., ¹Kaltaev A.Zh., ^{1,2,3}Larionov K.B.

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: azk2@tpu.ru;

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo;

³National University of Science and Technology MISiS, Moscow

This paper shows the possibility of synthesizing a material based on graphite, oxycarbide, and titanium carbide as a result of using a DC plasma arc discharge technique on a mixture of starting materials in an air atmosphere: charcoal and titanium dioxide. Charcoal was obtained by pyrolysis of pine sawdust at a temperature of 400°C. The graphite cathode and anode, connected to a direct current source, are the main elements of the stand. The anode is made in the form of a rod, and the cathode is made in the form of a crucible, a mixture of titanium dioxide and charcoal powders is poured into it. The synthesis was carried out directly in a graphite crucible due to the active generation of carbon monoxide and carbon dioxide gases. A cloud of these gases prevents air oxygen from entering the reaction zone, as a result of which the synthesis product is not completely oxidized. According to X-ray diffraction data, the synthesis product contains phases of graphite, titanium carbide, titanium oxycarbide, and titanium dioxide. The presence of oxycarbide is due to the fact that the synthesis product was collected from the neck of a graphite cathode. The data of the qualitative energy dispersive analysis of the chemical composition confirm the results of X-ray diffractometry.

Keywords: oxycarbide, charcoal, titanium dioxide, arc discharge, biomass

Тугоплавкие керамические материалы на основе соединений переходных металлов (нитриды, бориды, карбиды), чьи температуры плавления превышают 2200°C, могут быть применимы в аэрокосмической отрасли, в технологиях металлургической отрасли и в термоядерной энергетике [1–3]. Таким материалом является карбид титана (TiC), он имеет структуру типа NaCl (кубическую гранцентрированную). Карбид титана известен благодаря своим свойствам, таким как высокая температура плавления, относительно низкая плотность, высокая твердость, хорошая износостойкость [4]. Обычно для синтеза карбида титана исполь-

зуется технически чистый титан или оксид титана, а также углерод различного происхождения. Всё чаще ученые стали уделять внимание пористым керамическим материалам, они могут быть использованы в подложках для катализаторов, в фильтрах для газа и жидкости, а также в изготовлении резервуаров для газа и жидкости [5, 6]. Для получения пористого керамического материала в качестве источника углерода может быть использован древесный уголь. Он, в свою очередь, сочетает в себе высокую прочность, жёсткость и вязкость при низкой плотности, благодаря уникальной, ячеистой, пористой микрострукту-

ре древесины [7]. Древесина демонстрирует отличные механические свойства при относительно низкой плотности [8, 9]. Именно благодаря этим свойствам древесный уголь обычно используется для изготовления пористых карбидов, таких как карбид титана. Кроме того, древесина, как и любая биомасса, является потенциально возобновляемым ресурсом для производства карбидов [10]. Процесс получения карбида титана с использованием древесного угля заключается в проникновении посторонних материалов (металла, керамики) в древесный уголь, полученный путем карбонизации древесины при высоких температурах ($\geq 600^\circ\text{C}$).

Оксикарбиды титана также являются важными материалами для развития науки и техники. Для получения пористых карбидов и оксикарбидов из древесины можно использовать несколько методов: инфильтрация прекурсора полимера (PPI), инфильтрация плавлением (PI) и инфильтрация расплавленных солей (MSI), золь-гель-инфильтрация и химическая или физическая инфильтрация паров [11, 12].

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, в ходе которых показана возможность синтеза карбида титана и оксикарбида титана в плазме дугового разряда с использованием в качестве исходного сырья древесных опилок, т.е. отходов деревообрабатывающего предприятия.

Цель исследования – реализация синтеза оксикарбидов и карбидов титана с использованием в качестве исходного сырья углерода, полученного из биомассы, а именно отходов древесины.

Материалы и методы исследования

В качестве прекурсоров были взяты технически чистый порошок диоксида титана (Rare Metals Corp., Russia) и древесный уголь, полученный пиролизом измельченных сосновых опилок (ООО «Дзержинский ЛПК», г. Томск). Суть пиролиза заключается в том, что органическое вещество разлагается на более простые фрагменты с помощью нагревания в отсутствие кислорода. Паровой пиролиз проводился при температуре 400°C в течение 1 ч.

Все экспериментальные исследования были проведены на лабораторном электродуговом стенде [13]. Графитовые катод и анод, подключенные к источнику постоянного тока, являются основными элементами стенда. Анод выполнен в форме стержня, а катод выполнен в форме тигля, в него засыпается смесь порошков диоксида титана и древесного угля, которые предварительно были смешаны и перемо-

лоты в шаровой мельнице с эксцентриковым приводом (Mill 8000M Horiba Scientific). При подаче разности потенциалов на анод и катод, в разрядном промежутке над дном тигля возникает дуговой разряд. В серии экспериментов источник питания настраивался на силу тока 200 А. Под его действием в системе поднимается температура (в столбе дуги до 12000°C), в результате чего происходит синтез карбида титана или оксикарбида титана. Метод реализуется в условиях генерации газов CO и CO_2 , которые формируют атмосферу, в которой происходит синтез. Они, в свою очередь, обеспечивают экранирование реакционного объема от кислорода воздуха, предотвращая полное окисление продуктов синтеза. Данный эффект однозначно наблюдается при сборе продукта синтеза со дна тигля-катода [13]; в настоящей серии экспериментов сбор продуктов синтеза производился с горловины тигля-катода. Полученные материалы анализируются методом рентгеновской дифрактометрии (Shimadzu XRD 7000s, длина волны излучения $1,54060 \text{ \AA}$), а также методом растровой электронной микроскопии (Hitachi TM3000, Tescan Vega 3 SBU). Исследование термического разложения синтезируемого образца было выполнено с помощью синхронного-термического анализатора Netzsch STA 449 F3 Jupiter (Netzsch, Germany). Анализ проводился при скорости нагрева $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ в корундовом тигле с перфорированной крышкой до температуры 1000°C . Образец массой $\sim 8 \text{ мг}$ распределялся равномерно по дну тигля и помещался в поток окислительной (воздух) среды. Скорость газового потока составляла $150 \text{ мл}/\text{мин}$. Также был выполнен качественный анализ состава газофазных продуктов окисления. Анализ проводился с помощью приставки к СТА в виде квадрупольного масс-спектрометра QMS 403 D Aeolos (Netzsch, Germany). Все исследования проводились в условиях атмосферного давления.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлена типичная картина рентгеновской дифракции продукта синтеза. Ранее в наших других работах [13] была показана возможность синтеза карбидов металлов. В проведенной серии экспериментов продукты синтеза собирались с области, наиболее близкой к горловине тигля, то есть в области, где влияние атмосферного воздуха наибольшее. По данным рентгеновской дифрактометрии можно идентифицировать в продуктах синтеза несколько кристаллических фаз. Во-первых, можно

идентифицировать однозначно фазу графита, главный максимум которой расположен на $\sim 26^\circ$. Данный максимум раздваивается, что может быть свидетельством присутствия одновременно двух графитоподобных углеродных фаз. Вероятно, одна фаза является графитизированным под действием высоких температур плазмы древесным углем, вторая фаза может быть продуктом процесса эрозии графитового анода. Также можно выделить фазу оксида титана, присутствие которой можно объяснить как наличием остатков исходного сырья (диоксида титана) в продуктах синтеза, так и окислением находящихся в системе материалов. Также можно идентифицировать кубическую фазу карбида титана и фазу оксикарбида титана. По данным количественного анализа в типичном продукте синтеза присутствует до 5,7% (об.) карбида титана, до 8,1% (об.) оксикарбида титана, до 7,9% (об.) диоксида титана, а также до 78,2% (об.) графита. Также на картине рентгеновской дифракции присутствует характерный изгиб фоновой линии в диапазоне от 10° до 20° , что может быть связано с присутствием в продуктах синтеза рентгеноаморфной составляющей. Точное определение соотношений масс или объемов рентгеноаморфной фракции и кристаллической представляется невозможным в рассматриваемом случае, поэтому сведения о концентрации кристаллических фаз следует считать оценочными. При этом следует отметить, что изменение продолжительности поддержания дугового разряда изменяет соотношение интенсивностей главных дифракционных максимумов графита и диоксида титана. Причиной этого может быть процесс эрозии анода, который увеличивает массу продукта синтеза за счет

переноса массы анода в продукт синтеза, а также это явление может быть связано с изменением содержания исходного диоксида титана в зависимости от количества подведенной энергии.

По данным растровой электронной микроскопии (рис. 2) в продуктах синтеза присутствует множество микроразмерных объектов с различной морфологией. По данным энергодисперсионного анализа идентифицировано присутствие в продуктах синтеза углерода, кислорода и титана, что подтверждает данные рентгеновской дифрактометрии.

На рис. 3 представлены результаты термического анализа исследуемого образца.

Из рис. 3 видно, что процесс термического разложения протекает в одну стадию, связанную с окислением свободного углерода и образованием диоксида углерода. Начальная температура окисления T_i , вычисленная графическим способом из данных ТГ, составила 696°C . Температура завершения процесса разложения T_f – 920°C . Полученные значения температур T_i и T_f характерны для процесса разложения графита [14]. При этом общая потеря массы образца составила 37 wt %.

Профиль ДТГ (рис. 3) имеет мономодальный вид и определяется в температурном интервале $576\text{--}932^\circ\text{C}$ со значением максимальной скорости реакции $w_{\text{max}} = 0,25 \text{ wt\%} / ^\circ\text{C}$ при температуре $T_{\text{max}} = 815^\circ\text{C}$. Также следует отметить, что температура экзотермического максимума на профиле ДСК (рис. 3) совпадает со значением T_{max} . Наблюдаемый экзотермический эффект был связан с выделением тепла при окислении углерода с образованием CO_2 , характер профиля которого совпадает с данными ДТГ и ДСК.

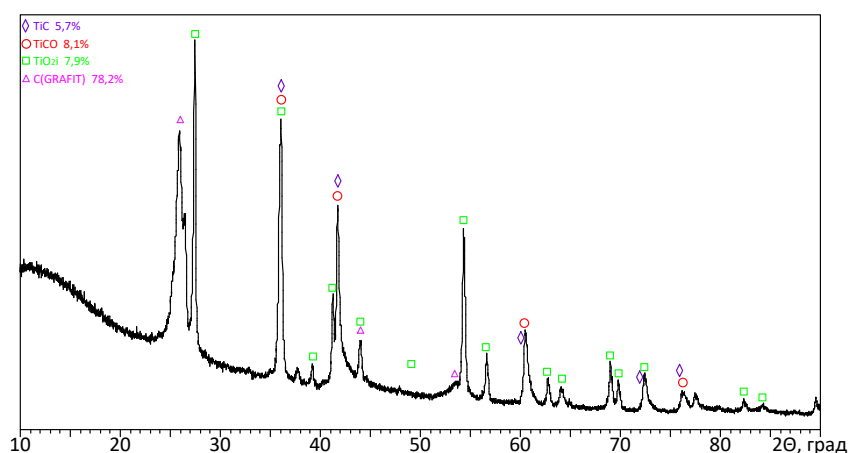


Рис. 1. Типичная картина рентгеновской дифракции продуктов синтеза, собранных с области горловины тигля – катода разрядного контура

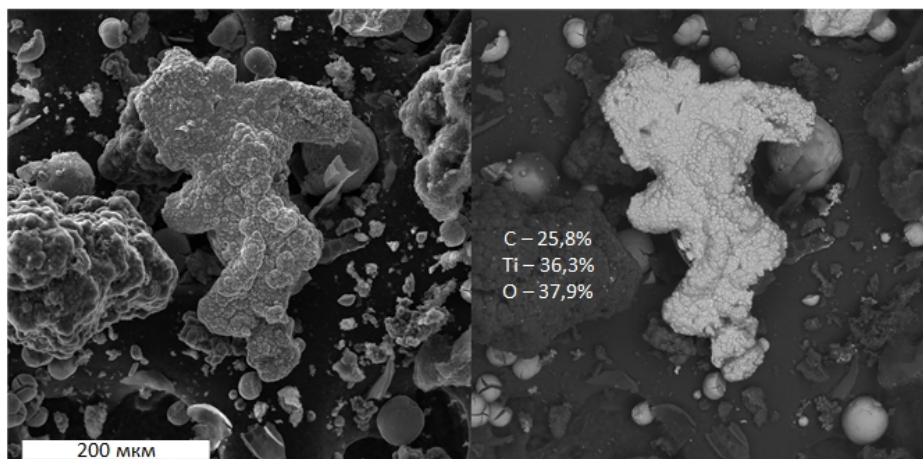


Рис. 2. Растровая электронная микроскопия (x500)

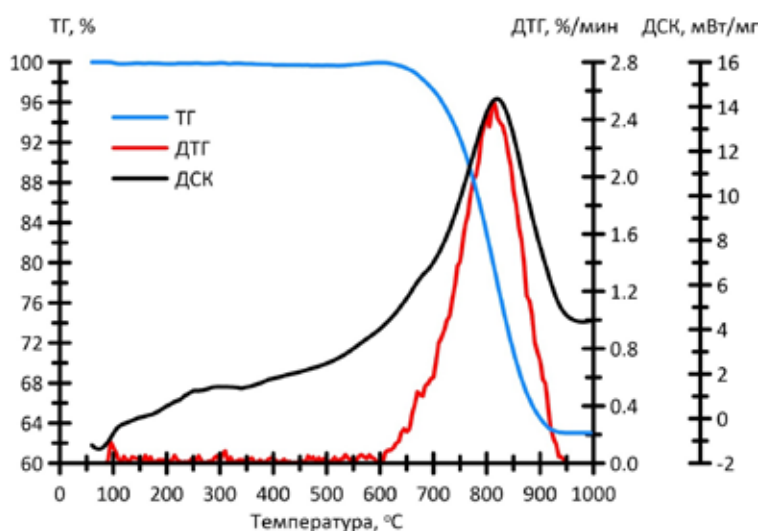


Рис. 3. Данные ТГ, ДТГ и ДСК для процесса термического разложения исследуемого образца в среде воздуха. Скорость нагрева 10 °С/мин, расход воздуха – 150 мл/мин

Заключение

В представленной работе изложены результаты экспериментальных исследований, в рамках которых в серии экспериментов были синтезированы кристаллические фазы графита, карбида титана и оксикарбида титана воздействием атмосферной плазмы дугового разряда на смесь древесного угля и диоксида титана. Ранее подобным подходом были получены образцы на основе карбида титана, в данной же серии экспериментов проводился раздельный сбор продуктов синтеза из разных частей реакционной зоны, а именно, с участка горловины тигля. Вероятно, в области горловины тигля происходят физико-химические процессы под действи-

ем плазмы дугового разряда, в условиях прямого контакта атмосферного воздуха и исходного сырья, что приводит к образованию кристаллических фаз карбида титана, оксикарбида титана, вероятно, оксида титана. Кроме того, в продуктах синтеза идентифицированы две фазы графита, одна из которых является продуктом эрозии электродов разрядного контура, вторая является результатом процесса графитизации исходного древесного рентгеноаморфного угля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проекты № 075-00268-20-02 (ID: 0718-2020-0040) и № FZES-2021-0008).

Список литературы

1. Li F., Liu J.X., Huang X., Zhang G. Porous ultra-high temperature ceramics: preparation, structure and properties. *J. Chin. Ceram. Soc.* 2018. Vol. 46. No. 12. P. 1669–1684.
2. Silvestroni L., Sciti D., Zoli L., Balbo A., Zanotto F., Orrù R., Licheri R., Musa C., Mercatelli L., Sani E. An overview of ultra-refractory ceramics for thermodynamic solar energy generation at high temperature. *Renew. Energy.* 2019. Vol. 133. P. 1257–1267.
3. Bhattacharya A., Parish C.M., Koyanagi T., Petrie C.M., King D., Hilmas G., Fahrenholtz W.G., Zinkle S.J., Katoh Y. Nano-scale microstructure damage by neutron irradiations in a novel Boron-11 enriched TiB₂ ultra-high temperature ceramic. *Acta Mater.* Elsevier. 2019. Vol. 165. P. 26–39.
4. Mhadhbi M. Titanium Carbide: Synthesis, Properties and Applications. *Brill. Eng.* 2020. Vol. 2. No. 2. P. 1–11.
5. Hammel E.C., Ighodaro O.-R., Okoli O.I. Processing and properties of advanced porous ceramics: An application based review. *Ceram. Int.* Elsevier 2014. Vol. 40. No. 10. P. 15351–15370.
6. Kaiser A., Sudireddy B.R., Akhtar F. Porous Ceramics for Energy Applications. *Encyclopedia of Materials: Technical Ceramics and Glasses* Elsevier. 2021. P. 380–392.
7. Yu M., Zhang G., Saunders T. Wood-derived ultra-high temperature carbides and their composites: A review. *Ceram. Int.* Elsevier. 2020. Vol. 46. No. 5. P. 5536–5547.
8. Astley R.J., Harrington J.J., Stol K.A. Mechanical modelling of wood microstructure, an engineering approach. *Trans. Inst. Prof. Eng. New Zeal. Electr. Eng. Sect.* 1997. Vol. 24. No. 1. P. 21–29.
9. Kretschmann D.E. Mechanical Properties of Wood. *Wood Handbook – Wood as an engineering material*, 2010. 49 p.
10. Kim N.-W., Kim J.H., Kim D.H., Ruh H., Lee J.-T., Yu H. Template Synthesis of Nanoporous TiO₂ Ceramic Using Bamboo Charcoal. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2017. Vol. 17. No. 10. P. 7814–7819.
11. Qian J.-M., Jin Z.-H., Wang X.-W. Porous SiC ceramics fabricated by reactive infiltration of gaseous silicon into charcoal. *Ceram. Int.* Elsevier. 2004. Vol. 30. No. 6. P. 947–951.
12. Rambo C.R., Cao J., Rusina O., Sieber H. Manufacturing of biomorphic (Si, Ti, Zr)-carbide ceramics by sol-gel processing. *Carbon* N.Y. Elsevier. 2005. Vol. 43. No. 6. P. 1174–1183.
13. Pak A.Y., Grinchuk P.S., Mamontov G.Y., Yakich T.Y., Gumovskaya A.A. Production of HfTaTiNbZrC₅ High-Entropy Carbide Micropowder in the Plasma of an Atmospheric Pressure Arc Discharge. *J. Eng. Phys. Thermophys.* Springer. 2021. Vol. 94. No. 1. P. 88–94.
14. Wang H., Li Y., Zhu T., Sang S., Wang Q. Microstructures and mechanical properties of Al₂O₃-C refractories with addition of microcrystalline graphite. *Ceram. Int.* 2014. Vol. 40. No. 7. P. 11139–11148.

СТАТЬИ

УДК 548.536

УСКОРЕННЫЙ СИНТЕЗ TL (Bi) ВТСП-МАССИВНЫХ ОБРАЗЦОВ КЕРАМИКИ С РЕКОРДНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

¹Алтухов В.И., ¹Вигаев В.П., ²Саввин В.С., ¹Санкин А.В.

¹Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Пятигорск, e-mail: Zam-id@pfncfu.ru;

²Обнинский институт атомной энергетики (МИФИ), Обнинск

В работе приведены результаты разработки и оптимизации ускоренных режимов технологии (6–10 ч вместо 50–60 ч) получения массивных образцов Tl (Bi) ВТСП-керамики с рекордными параметрами (температурами сверхпроводящего перехода (T_c) до 205 К, плотностью транспортного критического тока (J_c) вплоть до десятков тысяч и более А/см²). Показана возможность получения образцов с T_c до 150–205 К и выше. Приведены сведения по практическому применению массивных образцов ВТСП-керамики: таблетки, массивные образцы, изделия. Общая себестоимость изделий из новых ВТСП-материалов при серийном производстве будет существенно ниже, чем у ВТСП-материалов второго поколения. По нашим оценкам, только производство 1 км транспортного силового кабеля, изготовленного по этой технологии, в 700–800 раз дешевле аналогичного по физическим параметрам кабеля, изготовленного по «сэндвичной» технологии. Нужно учесть и дешевизну эксплуатации кабеля, работающего при температуре «сухого льда» по сравнению со стоимостью обслуживания силового кабеля, изготовленного по технологии ВТСП-материалов второго поколения и работающего при температуре жидкого азота. Предлагаемые авторами ускоренные технологические режимы синтеза ВТСП-керамики и теоретическая обработка полученных результатов в значительной мере решают задачу реализации ускоренной производственной технологии получения ВТСП материалов.

Ключевые слова: ВТСП-керамика, Tl (Bi) ВТСП, рекордные температуры сверхпроводящего перехода, применения Tl (Bi) ВТСП-керамики

ACCELERATED SYNTHESIS OF TL (Bi) HTS-MASSIVE CERAMIC SAMPLES WITH RECORD PARAMETERS AND THEIR PRACTICAL APPLICATION

¹Altukhov V.I., ¹Vigaev V.P., ²Savvin V.S., ¹Sankin A.V.

¹North Caucasus Federal University, Stavropol, Pyatigorsk, e-mail: Zam-id@pfncfu.ru;

²Obninsk Institute of Atomic Energy (MEPhI), Obninsk

The paper presents the results of the development and optimization of accelerated modes of the technology (6–10 hours instead of 50–60 hours) of obtaining massive samples of Tl (Bi) HTS ceramics with record parameters (superconducting junction temperatures (T_c) up to 205 K, the density of transport critical current (J_c) up to tens of thousands or more A/cm²). The possibility of obtaining samples from T_c up to 150–205 K and above is shown. Information on the practical application of massive samples of HTS ceramics is given: tablets, massive samples, products. The total cost of products from new HTS materials in mass production will be significantly lower than that of HTS materials of the 2nd generation. According to our estimates, only the production of 1 km of transport power cable manufactured using this technology is 700–800 times cheaper than a similar cable in terms of physical parameters, made using “sandwich” technology. It is necessary to take into account the cheapness of operating a cable operating at the temperature of “dry ice” in comparison with the cost of servicing a power cable made using the technology of HTS materials of the 2nd generation and operating at a temperature of liquid nitrogen. The accelerated technological modes of synthesis of HTS-ceramics proposed by the authors and the theoretical processing of the results obtained largely solve the problem of implementing an accelerated production technology for obtaining HTS materials.

Keywords: HTS ceramics, Tl (Bi) HTS, record temperatures of superconducting transition, applications of Tl (Bi) HTS ceramics

В настоящем сообщении рассмотрены результаты поиска и оптимизации параметров технологических режимов ускоренного синтеза образцов таллиевой и висмутовой ВТСП-керамики с рекордными характеристиками. Имеются в виду конкурентоспособные объемные образцы керамики, позволяющие наладить выпуск ВТСП-продуктов, имеющих коммерческое значение [1–3]. Если 7–9 лет назад длина производимых по сэндвичной технологии ВТСП-проводников ограничивалась одним метром (Tl, Pb) -1223 провод с J_c до 10⁴ А/см² при 77 К [4], то сегодня это ленты ((Tl, Bi)-

1223 и Tl-1223 ВТСП-провода второго поколения) с высокой токонесущей способностью, длиной более 1000 м и средним линейным критическим током $I \sim 500$ А на 1 см ширины (американские компании SuperPower и American Superconductor (AMSC) [5, гл. 17]). Технологии изготовления ВТСП-лент второго поколения, в частности, разрабатываются на химическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова при участии Института физики металлов УрО РАН, а также других НИИ и предприятий [3, 5].

Возможность увеличения транспортного критического тока в ВТСП-проводниках

второго поколения на сегодня в основном связывают с увеличением толщины сверхпроводящего слоя без существенного снижения остроты текстуры. В трехслойном ВТСП-покрытии толщиной 2 мкм уже достигнут линейный критический ток до 660 А/см ширины. Другой путь увеличения критического тока – это усиление пиннинга за счет увеличения концентрации преднамеренно введенных центров пиннинга с большим потенциалом пиннинга [3, с. 425]. При этом важную роль играют различные по сути методы осаждения эпитаксиальных пленок YBCO и других исходных ВТСП-материалов на подготовленные подложки.

Выбор подложки и метода осаждения пленок ВТСП-керамики для кабелей второго поколения приобретает ключевое значение, поскольку этим определяется значение высокой цены и эксплуатационные характеристики ВТСП-кабеля и успех коммерциализации технологии. Интерес к подходящим для этих целей материалам, к *Tl* и *Bi* ВТСП-образцам, а также к их потенциальным возможностям побудил авторов возобновить работы по оптимизации ускоренного синтеза ВТСП-керамики с рекордными физическими характеристиками.

*Значения полученных
рекордных характеристик*

Нами были рассмотрены различные технологии синтеза таллиевой и висмутовой керамики и реализована технология синтеза, дающая стабильные образцы ВТСП-керамики с оптимальными и рекордными характеристиками. В результате на образцах керамики различного стехиометрического состава нами получены температуры сверхпроводящего перехода от 93 до 124 К с плотностями транспортных критических токов от 1000 до 3000 А/см². Были изучены дифракционные рентгеновские спектры, измерен эффект Мейсснера и проведены магнитные и резистивные измерения для образцов с различной температурой сверхпроводящего перехода [1, 2].

В ходе исследований плотность транспортного критического тока измерялась методом падения напряжения на образцах. Удельное сечение транспортных ВТСП-жгутов на образцах не было промерено, и плотность транспортного критического тока считалась по сечению образца, а не ВТСП-жгута. А так как, согласно дифракционным рентгеновским спектрам, объемная доля ВТСП-жгутов в теле образцов ВТСП-керамики оценивалась на уровне 25–30 %, есть основания утверждать, что реальная плотность транспортного критического

тока в ВТСП-жгутах полученных образцов достигала 1000–10000 А/см². То есть, если увеличить удельную плотность ВТСП-жгутов в материале, то можно величину плотности критических токов поднять в несколько раз.

В работе, кроме однофазных образцов с ВТСП-переходом при 125 К, на которых в основном и отработывалась технология синтеза, были получены отдельные одно-, двух-, трехфазные образцы и более с аномально высокими температурами сверхпроводящих переходов при 145–150 К, 170–175 К, 190–205 К и даже 270–275 К. Это указывает на реальную возможность повышения критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние вплоть до достижения области температур «сухого льда» (195 К – твердая двуокись углерода) и выше.

Таким образом, нами была разработана технология стабильного ускоренного синтеза таллиевой ВТСП-керамики. Процесс синтеза был значительно сокращен по времени (по сравнению с известными двухступенчатыми технологиями). Таким образом, была развита оптимальная технология синтеза *Tl* и *Bi* ВТСП-керамики, которая после некоторой доработки может быть трансформирована в заводской технологический процесс.

*Структура и температурная
зависимость свойств полученных
ВТСП-образцов*

Измерения свойств, полученных ранее массивных образцов (таблеток) ВТСП-керамики были проведены на физическом и химическом факультетах МГУ (2011–2012 гг., Москва). Результаты измерений приведены в табл. 1, 2 и на рис. 1–5.

Приведенные ниже графики (рис. 1) подтверждают, что ВТСП-образцы имеют штатно-высокие и рекордные параметры характеристик: температуры сверхпроводящего перехода T_c (125 К) и более высокие транспортные критические токи (до 4000 А/см²) и другие характеристики, что делает эту технологию весьма перспективной в области науки, техники и медицины. Значения полученных в работе параметров согласуются с результатами других авторов [3, 5]. Полученные по предлагаемой технологии синтеза данные для таллиевых и висмутовых образцов ВТСП-керамики были частично опубликованы в региональной печати и материалах конференций. Результаты этих исследований для таллиевой ВТСП-керамики до сих пор остаются рекордными, что делает дальнейшие исследования в этом направлении весьма перспективными [3].

Таблица 1

Рабочие номера образцов и индексы 22(n-1)n – структур $Tl_2Ba_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}$

№ образца	Индексы соединения $TlBaCaCuO$	Количество фаз	T_c , К	J_c , А/см ²	Содержание фаз, %
18.2.56	2212	1	113	288	80
18.2.33	–	2	103	277	20
	2223		123		70
18.1.63	2201	2	93	135	25
	2212		110		65
16.1.56	2212	1	110	203	75
19.1.65	2201	2	93	187	30
	2212		113		55
4.1.36	2234	2	115	315	25
	1245		119		50
4.2.26				338	
16.2.67				407	
19.2.74				388	

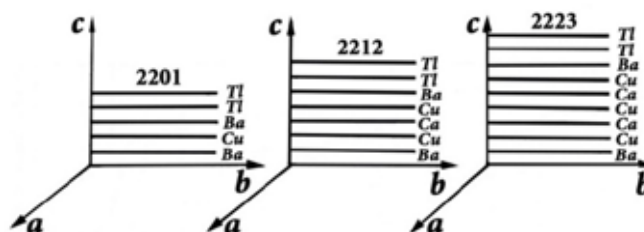


Рис. 1. Схема слоистой структуры различных фаз таллиевых сверхпроводников типа $Tl_2Ba_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}$

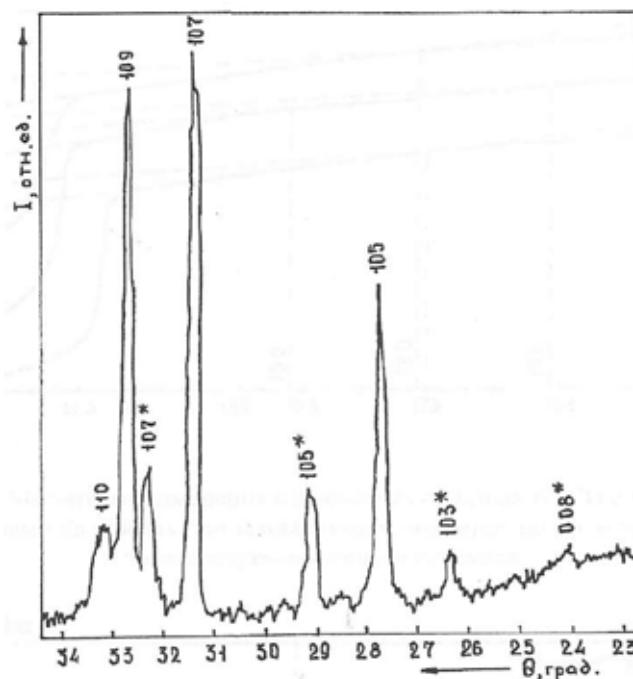


Рис. 2. Дифракционный рентгеновский спектр образца $Tl_2Ba_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}$, представляющего собой смесь двух сверхпроводящих фаз – 2223 и 2212

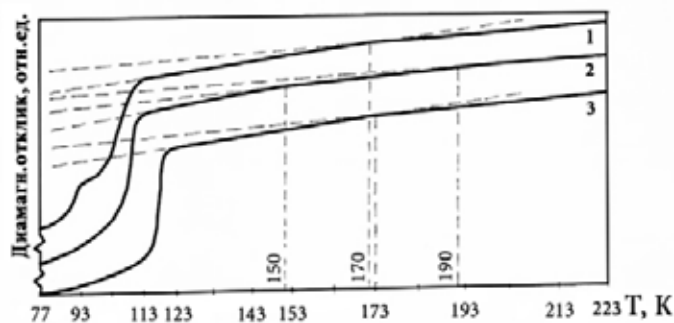


Рис. 3. Измерения эффекта Мейсснера в многофазных образцах Tl – ВТСП-керамики с характерными изломами на кривых, при температурах, значительно превышающих T_c основного перехода

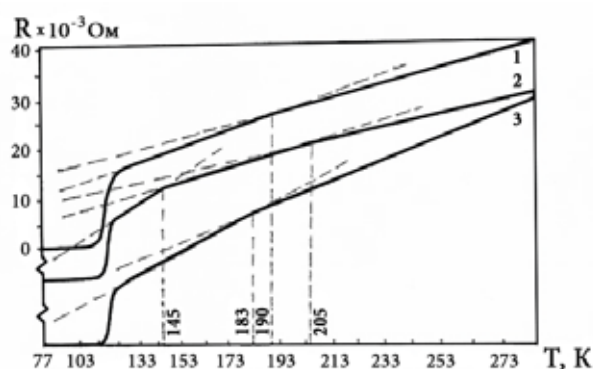


Рис. 4. Температурный график электросопротивления (четырёхконтактный метод) образцов Tl – ВТСП-керамики с изломами при температурах, значительно превышающих T_c основного перехода

Данные измерений температурной зависимости действительной части магнитной восприимчивости (χ') Tl -ВТСП-керамики трех образцов разного состава (1 – 7.1; 2 – 8.1; 3 – 10.1) приведены на рис. 3.

При измерении удельных электросопротивлений образцов наблюдались как традиционно высокие температуры сверхпроводящих переходов от 93 до 125 К, так и для ряда многофазных образцов аномально высокие температуры сверхпроводящих переходов отдельных фаз при 145–150 К, 170–175 К и 193–205 К, как это видно на графиках рис. 3 и рис. 4 (соответствующие изломы на температурных кривых).

На рис. 5 проведено сопоставление результатов расчетов по формулам (1)–(6) с данными опытов по рис. 3 и 4.

Для измерений применялись образцы в форме таблетки (диаметр: 15 мм, толщина 5 мм) однофазного стехиометрического состава $TlBaCaCuO$ -2223 с $T_c = 124$ К. Массовая доля фазы оценочно составляет 70%. Также применялись образцы в форме таблетки-шестигранника (диам. 12 мм, толщ.

5 мм) многофазного стехиометрического состава $TlBaCaCuO$ – 1245/2223/1242/X с $T_c = 117/123/145/x$ К. Массовая доля фаз соответственно оценочно 50/15/10/ X% (X – сумма фаз с высокими T_c).

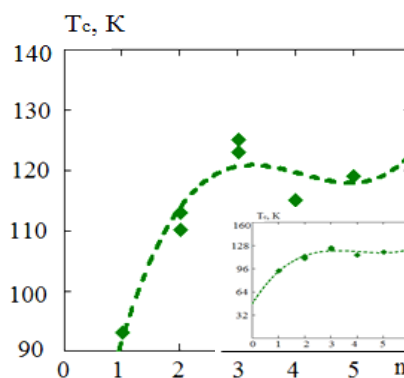


Рис. 5. Зависимость температуры сверхпроводящего перехода T_c : от числа слоёв CuO , для Tl -222 n_1 ($n_1 = 1, 2, 3, 4$ (5)) Tl – ВТСП-керамики; на вставке – та же кривая $T_c(n)$ с другими масштабами по осям

Таблица 2

Значения T_c по измерениям кривых электросопротивления $R(T)$ и магнитовосприимчивости $\chi(T)$ образцов Tl ВТСП-керамики

№ образца график	Температура T_c для различных фаз Tl ВТСП-образцов T_c , отмеченная ранее на графиках по измерениям 1990 г. (К)	Новые T_c , найденные на графиках по измерениям в 2012 и 2022 гг. (К)
10.1 $R(T)$:	113; 123; 145; 205	263
10.1 $\chi(T)$	113; 150; 190	205
7.1 $\chi(T)$	113; 143	183
18.1 $R(T)$	103; 123; 133; 190	250
18.1 $\chi(T)$	90; 103; 123; 153; 173	203
19.1 $R(T)$	103; 115; 121; 143; 153; 180	243; 270

Свойства образцов ВТСП-керамики, полученных ранее, были повторно измерены в 2012 и 2022 гг. на химическом и физическом факультетах МГУ для проверки и подтверждения свойств Tl -ВТСП-образцов на сохранность во времени. В январе 2022 г. снова были проведены эксперименты с образцами, изучавшимися в 1990 и в 2012 гг. на предмет проверки сохранности ВТСП-свойств материала образцов (по измерениям эффекта Мейсснера). Эксперименты показали, что все образцы сохранили свои свойства. Таким образом, нами проведены новые эксперименты по изучению сохранности свойств образцов, полученных по авторской технологии. В данном эксперименте все образцы сохранили свои ВТСП-свойства на протяжении 32 лет при хранении на открытом воздухе.

В ходе эксперимента, по прошествии времени, вследствие нагревания образца с однофазной структурой, при переходе температуры через T_c , образец сразу возвращается к магниту. Образцы же с многофазной структурой возвращаются к магниту «ступенчато», по мере прохода, при нагреве до критической температуры, соответствующей T_c каждой из фаз, что видно в динамике эксперимента. В табл. 2 приведены значения T_c , наблюдаемые на опытах, в том числе по изломам кривых сопротивления $R(T)$ для различных фаз Tl – ВТСП образцов.

Аномально высокие значения для T_c отдельных фаз многофазных образцов, синтезированных авторами, подтверждают ранее высказывавшиеся предположения о возможности существования сверхпроводящих переходов при температурах существенно больших, чем 125–127 К и вплоть до температур твердой двуокиси углерода – «сухого льда» (195 К) и выше. Найденные нами режимы синтеза ВТСП-керамики делают такую возможность вполне реальной. Технологически в дальнейшем задача сводится к необходимости выделить из многофазных

образцов Tl –ВТСП-керамики отдельные фазы с нужной T_c и далее из этих моно-фаз синтезировать ВТСП-материал с аномально высокими температурами сверхпроводящего перехода. Сама идея технологического решения такого получения – режима «сепарации» фаз была разработана авторами ранее. Широкое применение Tl - Bi ВТСП керамики, в частности, представлено в работах [5, 6].

Расчеты T_c в модели Хаббарда для разных составов x при $n = 1 - x$.

Рассмотрим температуру сверхпроводящего перехода в модели Хаббарда, допускающей наряду с диэлектрической фазой и притяжение (спаривание) дырок в недозаполненной зоне ($n < 1$). При этом T_c определяется как функция чисел заполнения $n = 1 - x$ и состава x . При $n < 1$ будем исходить из условия заданного химического потенциала μ , т.е. для чисел заполнения $n = 1 - x$ [4]:

$$\sum_p \xi_p^{-1} t_p \operatorname{tg}(\xi_p / 2T) = 1, \quad \xi_p = ((2-n)/2)t_p - \mu; \quad (1)$$

где t_p – энергия перескока в соседнюю ячейку. При этом для среднего числа электронов в узле подрешетки получаем формулу

$$n = 2(1 - n/2) \sum_p n_F(\xi_p). \quad (2)$$

Здесь n_F – распределение Ферми; ξ_p – энергия одноэлектронного состояния; множители 2 и $f = 1 - n/2$ учитывают двукратное вырождение по спине и бесконечное отталкивание электронов соответственно; $n = 1 - x$; x – концентрация катионов M^{2+} [4]. Из условий $T_c > 0$ и $T \rightarrow 0$ при $x_c = 1/3$ согласно (2) находим, что $T_c > 0$ в области концентраций электронов $n > n_c$, где $n_c = 2/3$ или $0 < x < x_c$ ($x_c = 1/3$). Для двухмерной под-

решетки катионов меди со слабо меняющейся плотностью состояний, последнюю можно заменить прямоугольной функцией θ с шириной 2ω :

$$\rho_0(\varepsilon) = (1/2\omega)\theta(\omega^2 - \varepsilon^2).$$

В этой простейшей, но реальной модели интегрирование по $d\varepsilon$ удастся провести явно, и согласно (1) и (2) получаем

$$\frac{n(2+n)}{2-n} = \frac{\mu}{\omega} \ln \frac{4\gamma^2(\omega^2 - \mu^2)}{\pi^2 T_c^2}, \quad (3)$$

$$\frac{3n-2}{2-n} = \frac{1}{T_c \omega} \ln \frac{ch(\omega + \mu/2T_c)}{ch(\omega - \mu/2T_c)}, \quad (4)$$

где $2\gamma/\pi = 1,14$ известная постоянная теории Бардина – Купера; ω – полуширина нижней хаббардовской подзоны [4]. Исключая μ из (3) и (4), получаем явное выражение для температуры сверхпроводящего перехода:

$$T_c = \frac{2\gamma}{\pi} 3\omega \sqrt{\frac{n(1-n)}{2}} \exp \left[-\frac{n(2+n)}{6(n-n_c)} \right]. \quad (5)$$

Согласно (5) для образцов TI-ВТСП керамики T_c сначала возрастает с ростом $n > n_c$, а затем обращается в нуль при $x \rightarrow x_c$ по экспоненциальному закону типа Бардина – Купера (рис. 5).

$$T_c = \frac{2\gamma}{\pi} \omega \exp \left[\frac{-8}{27(x_c - x)} \right]. \quad (6)$$

Таким образом, в интервале $x_c > x > 0$ рассчитанная температура фазового перехода T_c как функция концентрации двухвалентных катионов M^{2+} имеет максимум, что согласуется с результатами опытов для образцов таллиевой сверхпроводящей керамики различного состава (рис. 5 и табл. 3). Температура перехода T_c сначала также возрастает с ростом числа слоев Cu_{n_1} ($n_1 = 1, 2, 3, 4, 5$) для $n_1 < 3$, затем уменьшается при $n_1 > 3$ (рис. 5) и далее проходит через минимум. Семейство высокотемпературных сверхпроводников на основе таллия оказалось перспективным как с точки зрения повышения критической температуры перехода, так и с точки зрения устойчивости к вариациям технологических режимов изготовления. Оптимизация условий изготовления и вариация состава позволили нам получить образцы ВТСП-керамики из семейства $Tl_m Ba_n Ca_{n-1} Cu_n O_{2n+m+2}$, где $m = 1, 2$ и $n = 1, 2, 3, 4$ (иногда 5), с температурами переходов 90, 110, 115 и 125 (124)

К и выше, а также с критическими токами до 1000–3000 А/см² и выше. Для значений температур перехода при реалистической ширине нижней подзоны $2\omega = 0,12$ эВ семейства (2223) – *Tl-Ba-Ca-Cu-O* керамики по формуле (5) получаем значения T_c в табл. 3.

Таблица 3

Рассчитанные значения температуры T_c для заданных концентраций x

x	0,025	0,050	0,100	0,150	0,200
T_c , К	99,9	128,5	140,4	119,0	71,4

Приведенные в таблице значения T_c согласуются с экспериментальными данными для образцов семейства (2223) табл. 3. Экспериментально достигнутое значение температуры $T_c = 124$ К приходится на $x = 0,10$, что соответствует результатам опытов.

Заключение

Результаты настоящей работы позволяют утверждать о возможности получения TI-ВТСП-материалов третьего поколения со следующими рекордными характеристиками:

- рекордные температуры нового поколения ВТСП материалов составят более 125–127 К (до 205 К);
- плотность критического тока новых TI-ВТСП материалов составит до нескольких десятков тысяч А/см²;
- себестоимость изделий из ВТСП будет существенно ниже, чем у ВТСП материалов второго поколения.

Список литературы

1. Алтухов В.И., Вигаев В.П., Саввин В.С., Санкин А.В., Калитка В.С., Михов А.П. Моделирование оптимальных режимов получения таллиевых и висмутовых макрообразцов ВТСП-керамики с рекордными характеристиками // Математическая физика и ее приложения – МФП: материалы междунауч. конф. (Пятигорск, 28–30 июня 2017 г.). Т. 3. Пятигорск: СКФУ, 2017. С. 76–80.
2. Алтухов В.И., Вигаев В.П., Дядюк М.Н., Касьяненко И.С., Санкин А.В. Расчет рекордных температур сверхпроводящего перехода $T_a(V_i)$ -образцов керамики // Обзорение прикладной и промышленной математики. 2017. Т. 19. № 2. С. 11–13.
3. Токонесущие ленты второго поколения на основе высокотемпературных сверхпроводников / под ред. Амида Гояла; пер. с англ. В.А. Амеличева и др.; ред. пер. А.Р. Кауль. М.: Изд-во ЛКИ, 2009. 432 с.
4. Plakida N.M. HTemperature cuprate superconductors. Ngr. Heidelberg, 2016. 570 p.
5. INFOMINE Research Group. Обзор рынка низкотемпературных сверхпроводников (НТСП) и оборудования на их основе в России. М., 2017. 103 с.
6. Сверхпроводники для электроэнергетики. Информационный бюллетень. Изд-во РНЦ «Курчатовский институт». 2007. Т. 4. Вып. 3. С. 1–1.

УДК 517.958

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ С ОПЕРАТОРОМ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ТИПА, ГДЕ ВЫРОЖДАЕТСЯ НЕКОРРЕКТНОЕ УРАВНЕНИЕ ВОЛЬТЕРРА ПЕРВОГО РОДА

Алыбаев А.М.

Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына, Бишкек,
e-mail: anarbek.alybayev@mail.ru

Важность исследуемой работы основана на изучении некорректных задач абстрактного моделирования, поскольку многие процессы нашей окружающей среды зачастую описываются подобными дифференциальными уравнениями. Изучение же обратных задач приводит нас к операторным и интегральным уравнениям, методы решения которых заслуживают особого внимания. В работе исследуется многомерная обратная задача с оператором гиперболического типа, вырождающаяся в уравнения Вольтерра первого рода с особым решением. На основе разработанного алгоритма асимптотического характера, где содержится сингулярная функция относительно малого параметра, доказаны вопросы регуляризируемости в обобщенном смысле и единственности решения исходной задачи во введенном пространстве. Отметим, что изучаемое дифференциальное уравнение в частных производных в исследуемой некорректной обратной задаче обобщает уравнения, моделирующие движение жидкости в трещиноватых породах, влагопереноса в почвогрунтах и др. В связи с этим результаты данной работы могут быть использованы и применены к указанным прикладным задачам для доказательства регуляризируемости в обобщенном смысле, в чем и заключается актуальность данной статьи. Таким образом, построение приближенного решения методами регуляризации, нахождение достаточного решения поставленной задачи посредством применения методов интегрализации и вспомогательной функции имеют место в данной работе.

Ключевые слова: дифференциальные уравнения, метод регуляризации, метод вспомогательной функции, обратная задача, особое решение, некорректная задача, интегральные уравнения Вольтерра первого рода

REGULARIZATION OF THE INVERSE PROBLEM WITH A HYPERBOLIC TYPE OPERATOR, WHERE THE INCORRECT VOLTERRA EQUATION OF THE FIRST KIND DEGENERATES

Alybaev A.M.

Kyrgyz National University named after Zh. Balasagyn, Bishkek, e-mail: anarbek.alybayev@mail.ru

The importance of the work under study is based on the study of ill-posed abstract modeling problems, since many processes in our environment are often described by such differential equations. The study of inverse problems leads us to operator and integral equations, the methods for solving which deserve special attention. In this paper, we study a multidimensional inverse problem with a hyperbolic type operator that degenerates into Volterra equations of the first kind with a special solution. On the basis of the developed asymptotic algorithm, which contains a singular function of a relatively small parameter, the questions of regularization in a generalized sense and the uniqueness of the solution of the original problem in the introduced space are proved. Note that the studied partial differential equation in the investigated ill-posed inverse problem generalizes the equations modeling the movement of fluid in fractured rocks, moisture transfer in soils, etc. In this regard, the results of this work can be used and applied to the indicated applied problems to prove regularization in a generalized sense, which is the relevance of this article. Thus, the construction of an approximate solution by regularization methods, finding a sufficient solution to the problem posed through the application of integration methods and an auxiliary function, are researched in this work.

Keywords: differential equations, regularization method, auxiliary function method, inverse problem, singular solution, ill-posed problem, Volterra integral equations of the first kind

В теории дифференциальных уравнений в частных производных исследованы различные прямые и обратные задачи, и для решения этих задач рассмотрены различные методы, связанные с функциями Римана, Грина, с преобразованиями Лапласа, Фурье и др., которые встречаются в работах [1–3] и т.д.

Большое значение в этой области имеют обратные задачи [4–6] и др., где вырождаются нелинейные интегральные уравнения первого или третьего рода с особыми решениями [3], так как их исследования еще не завершены, т.е. не имеют общих методов решения. В некоторых случаях разработаны

способы исследований, связанные с методами регуляризации, имеющие сингулярности относительно малого параметра [2].

В связи с этим в настоящей статье изучается многомерная коэффициентная обратная задача с дифференциальным оператором гиперболического типа, вырождающееся двумерное интегральное уравнение первого рода с особым решением. Чтобы доказать регуляризируемость исследуемой обратной задачи в введенном пространстве, применяются: метод вспомогательной функции, метод регуляризации операторных уравнений и элементы математического и функционального анализов [7, 8].

Основной целью данного исследования является получение достаточного решения обратной задачи, вырожденной в интегральное уравнение первого рода посредством нахождения соответствующего регуляризующего решения. Наряду с этим построение алгоритма асимптотического характера, где содержится сингулярная функция относительно малого параметра, также доказательство регуляризуемости в обобщенном смысле и единственности решения исходной задачи во введенном пространстве.

Материалы и методы исследования

В данной работе показаны материалы для важной отрасли высшей математики, такой как теория обратных задач, где применены методы исследования дифференциальных и интегральных-операторных уравнений, методы вспомогательной функции, методы интегрализации, а также методы регуляризации и элементы математического и функционального анализов. Использованы понятия построения регуляризующего алгоритма получения достаточного решения и оценки их погрешностей.

Результаты исследования и их обсуждение

Пусть задается обратная задача вида

$$u_{x^2y} + du_{x^2y} + \lambda(y)[u_y + \Psi(u)u_x] = f(t)(H\theta)(x, y), \quad (1)$$

$$\begin{cases} u(0, y, t) = u_x(0, y, t) = 0; u(x, 0, t) = 0; u(x, y, 0) = \phi(x, y), \forall (x, y, t) \in \Omega, \\ \phi(0, y) = \phi(x, 0) = \phi(0, 0) = 0, (u(t, 0, 0) = 0; u(0, 0, 0) = 0), \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}(u_t + du) \Big|_{t=T} = g(x, y), ((x, y, t) \in \bar{\Omega}; \Omega = (0, X) \times (0, b) \times (0, \infty); T \in (0, \infty)), \quad (3)$$

где

$$\begin{cases} H\theta \equiv \int_0^x \int_0^b K(x, \tau, y, \nu) \theta^2(\tau, \nu) d\nu d\tau, \\ C(D_0) \ni K(x, \tau, y, \nu) : |K(\cdot)| \leq C_{01}, (D_0 = \{(x, \tau) : 0 \leq \tau \leq x \leq X\} \times [0, b] \times [0, b]), \\ K(\cdot) \geq 0; \int_0^b K(0, 0, y, \nu) d\nu \neq 0, \forall y \in [0, b]; C^1(R_+) \ni \Psi(u); \Psi(0) = 0; |\Psi^{(i)}| \leq C_1, \\ C^{2,1}(\bar{D}_1) \ni \phi(x, y); C^{0,1}(\bar{D}_1) \ni g(x, y); |\phi(\cdot)|, |\phi_x|, |\phi_{x^2}|, |\phi_y| \leq C_2; |g^{(i)}(\cdot)| \leq C_3, \\ \forall (x, y) \in \bar{D}_1, (i = 0, 1; D_1 = (0, X) \times (0, b)); C^1[0, b] \ni \lambda(y); |\lambda^{(i)}(y)| \leq C_4, (i = 0, 1), \\ C(R_+) \ni f(t); f(T) \neq 0; \|f(t)\|_C |f^{-1}(T)| \leq C_5, (0 < d; C_i = \text{const}, i = \overline{0, 5}), \end{cases} \quad (4)$$

$d, \lambda, \Psi, f, \phi, g, K$ – известные функции. Тогда при указанных условиях требуется найти вектор-функцию: $U = (u, \theta)$ с двумя компонентами из $G^2(\Omega)$ с нормой:

$$\begin{cases} \|U\|_{G^2(\Omega)} = \|u\|_{C^{2,1,1}(\bar{\Omega})} + \|\theta\|_{Z^2(D_1)}, \\ U \in G^2(\Omega) = \{U = (u, \theta) : u \in C^{2,1,1}(\bar{\Omega}); \theta \in Z^2(D_1)\}, \end{cases}$$

здесь [8]: $Z^2(D_1)$ – пространство, элементами которого являются все суммируемые с квадратом функции из $L^2(\bar{D}_1)$, а также обобщенные функции $z(x, y)$ сосредоточенные в начале координат отрезка $[0, X]$ по переменной x с условием

$$\sup_{y \in [0, b]} \int_0^{\delta} z^2(\tau, y) d\tau < \infty.$$

Чтобы исследовать исходную обратную задачу, сперва эту задачу приводим к интегральному виду. С этой целью введем вспомогательную функцию V по правилу:

$$u_t + du = V(x, y, t), \forall (x, y, t) \in \bar{\Omega}, \quad (5)$$

где V – новая искомая функция с условиями

$$\begin{cases} V(0, y, t) = V_x(0, y, t) = 0; V(x, 0, t) = 0, \\ \frac{\partial^2}{\partial x^2} V(x, y, t)|_{t=T} = g(x, y), \forall (x, y, t) \in \bar{\Omega}. \end{cases} \quad (6)$$

Тогда из формулы (5) следует

$$u(x, y, t) = e^{-dt} \cdot \phi(x, y) + \int_0^t e^{-d(t-s)} \cdot V(x, y, s) ds \equiv (AV)(x, y, t). \quad (7)$$

Применяя формулы (5), (7) относительно (1) получим

$$\begin{aligned} V_{x^2y} + \lambda(y) \{e^{-dt} \cdot \phi_y(x, y) + \int_0^t e^{-d(t-s)} \cdot V_y(x, y, s) ds + \Psi[(AV)(x, y, t)] \times \\ \times [e^{-dt} \phi_x(x, y) + \int_0^t e^{-d(t-s)} \cdot V_x(x, y, s) ds]\} = f(t)H\theta. \end{aligned} \quad (8)$$

Далее, интегрируя (8) по y , имеем

$$\begin{aligned} V_{x^2} + \int_0^y \lambda(v) \{e^{-dt} \cdot \phi_v(x, v) + \int_0^t e^{-d(t-s)} \cdot V_v(x, v, s) ds + \Psi[(AV)(x, v, t)] \times \\ \times [e^{-dt} \cdot \phi_x(x, v) + \int_0^t e^{-d(t-s)} \cdot V_x(x, v, s) ds]\} dv = \int_0^y f(t)(H\theta)(x, v) dv \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} V_{x^2} + \int_0^y \lambda(v) e^{-dt} \cdot \phi_v(x, v) dv + \int_0^t e^{-d(t-s)} [\lambda(y)V(x, y, s) - \int_0^y \lambda'(v)V(x, v, s) dv] ds + \\ + \int_0^y \lambda(v) \Psi[(AV)(x, v, t)] \times [e^{-dt} \cdot \phi_x(x, v) + \int_0^t e^{-d(t-s)} \cdot V_x(x, v, s) ds] dv = \\ = \int_0^y f(t)(H\theta)(x, v) dv. \end{aligned} \quad (9)$$

Поэтому, допуская

$$V_{x^2} = W(x, y, t), \forall (x, y, t) \in \bar{\Omega}, \quad (10)$$

с условием

$$W(x, y, t)|_{t=T} = g(x, y), \forall (x, y, t) \in \bar{\Omega}, \quad (11)$$

получим

$$\begin{cases} V = \int_0^x (x - \tau) W(\tau, y, t) d\tau, \\ V_x = \int_0^x W(\tau, y, t) d\tau. \end{cases} \quad (12)$$

Вследствие этого, так как имеет место (10), (12), из (9) следует интегральное уравнение вида

$$\begin{aligned} W = & -\left\{\int_0^y \lambda(\nu)e^{-dt} \cdot \phi_\nu(x, \nu) d\nu + \int_0^t e^{-d(t-s)} [\lambda(y) \int_0^x (x-\tau)W(\tau, y, s) d\tau - \right. \\ & \left. - \int_0^y \lambda'(\nu) \int_0^x (x-\tau)W(\tau, \nu, s) d\tau d\nu] ds + \int_0^y \lambda(\nu) \Psi[e^{-dt} \cdot \phi(x, \nu) + \right. \\ & \left. + \int_0^t e^{-d(t-s)} \int_0^x (x-\tau)W(\tau, \nu, s) d\tau ds] \times [e^{-dt} \phi_x(x, \nu) + \int_0^t e^{-d(t-s)} \int_0^x W(\tau, \nu, s) d\tau ds] d\nu \right\} + \\ & + \int_0^y f(t)(H\theta)(x, \nu) d\nu. \end{aligned} \quad (13)$$

Из (13) видно, что неизвестными являются (W, θ) . Значит, на основе (11) из (13) вытекает

$$\begin{aligned} \int_0^y (H\theta)(x, \nu) d\nu = & (f(T))^{-1} \{g(x, y) + [\int_0^y \lambda(\nu)e^{-dT} \cdot \phi_\nu(x, \nu) d\nu + \\ & + \int_0^T e^{-d(T-s)} [\lambda(y) \int_0^x (x-\tau)W(\tau, y, s) d\tau - \int_0^y \lambda'(\nu) \int_0^x (x-\tau)W(\tau, \nu, s) d\tau d\nu] ds + \\ & + \int_0^y \lambda(\nu) \Psi[e^{-dT} \cdot \phi(x, \nu) + \int_0^T e^{-d(T-s)} \int_0^x (x-\tau)W(\tau, \nu, s) d\tau ds] \times [e^{-dT} \phi_x(x, \nu) + \\ & + \int_0^T e^{-d(T-s)} \int_0^x W(\tau, \nu, s) d\tau ds] d\nu] \} \equiv (BW)(x, y, T). \end{aligned} \quad (14)$$

Тогда на основе (13) и (14) получим

$$\begin{aligned} W = & -\left\{\int_0^y \lambda(\nu)e^{-dt} \cdot \phi_\nu(x, \nu) d\nu + \int_0^t e^{-d(t-s)} [\lambda(y) \int_0^x (x-\tau)W(\tau, y, s) d\tau - \right. \\ & \left. - \int_0^y \lambda'(\nu) \int_0^x (x-\tau)W(\tau, \nu, s) d\tau d\nu] ds + \int_0^y \lambda(\nu) \Psi[e^{-dt} \cdot \phi(x, \nu) + \right. \\ & \left. + \int_0^t e^{-d(t-s)} \int_0^x (x-\tau)W(\tau, \nu, s) d\tau ds] \times [e^{-dt} \phi_x(x, \nu) + \int_0^t e^{-d(t-s)} \int_0^x W(\tau, \nu, s) d\tau ds] d\nu \right\} + \\ & + f(t)(BW)(x, y, T) \equiv (PW)(x, y, t), \end{aligned} \quad (15)$$

где (13) является интегральным уравнением второго рода по переменным x .

Лемма 1. При наложении исходных условий относительно известных функций $d, \lambda, \Psi, f, \phi, g$ и

$$\begin{cases} L_P < 1, \\ P : S_r(W_0) \rightarrow S_r(W_0), \\ S_r(W_0) = \{W \in C(\bar{\Omega}) : |W - W_0| \leq r, \forall (x, y, t) \in \bar{\Omega}\}, \end{cases} \quad (16)$$

уравнение (15) разрешимо в $C^{0,1,0}(\bar{\Omega})$, и решение строится по правилу Пикара:

$$W_{n+1} = PW_n, \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (17)$$

с оценкой погрешности

$$\|W_{n+1} - W\|_C \leq L_P^{n+1} r \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0, \quad (18)$$

где W_0 – начальное приближение, а $0 < L_P$ – коэффициент Липшица оператора P . Тогда с учетом (12) и функция V определяется единственным образом в $C^{2,1,0}(\bar{\Omega})$. Поэтому на основе (7) и существует единственная функция $u \in C^{2,1,1}(\bar{\Omega})$.

Доказательство. Выше сказано, что (15) является интегральным уравнением второго рода и при условии (16) относительно оператора P реализуются условия Банаха. Поэтому уравнение (15) разрешимо в $C^{0,1,0}(\bar{\Omega})$, причем решение можно найти по правилу (17). Тогда, на основе выводов этого метода, имеем, что последовательность функций $\{W_n\}_0^\infty$ сходится к решению $W(x, y, t)$ уравнения (15) $\forall (x, y, t) \in \bar{\Omega}$ с оценкой (18), где

$$\begin{cases} L_P = C_4 X d^{-1} [2^{-1} X(1+b) + C_1 b(1 + 2^{-1} X(C_2 + d^{-1} X r_0)) (1 + C_5)] < 1, \\ \|W\|_C \leq r_0 = \text{const}. \end{cases}$$

С другой стороны, учитывая (10), (12), получим, что функции V, V_x, V_{x^2} ограничены $\forall (x, y, t) \in \bar{\Omega}$, так как ограничено W , $\forall (x, y, t) \in \bar{\Omega}$. А это означает, что V определена единственным образом в классе $C^{2,1,0}(\bar{\Omega})$ по правилу

$$\begin{cases} V_n = \int_0^x (x-\tau) W_n(\tau, y, t) d\tau, (n = 0, 1, 2, \dots), \\ \|V - V_n\|_C \leq \frac{X^2}{2} L_P^n r \xrightarrow{n \rightarrow \infty, L_P < 1} 0. \end{cases} \quad (19)$$

Кроме того, так как функция u определяется единственным образом по формуле (7) в $C^{2,1,1}(\bar{\Omega})$ и все частные производные от функции u ограничены $\forall (x, y, t) \in \bar{\Omega}$ (здесь все частные производные функции u выражаются через функцию V), то имеет место

$$\begin{cases} u_n = e^{-dt} \cdot \phi(x, y) + \int_0^t e^{-d(t-s)} \cdot V_n(x, y, s) ds \equiv (AV_n)(x, y, t), (n = 0, 1, \dots), \\ \|u - u_n\|_C \leq \frac{X^2}{2d} L_P^n r \xrightarrow{n \rightarrow \infty, L_P < 1} 0. \end{cases} \quad (20)$$

Что и требовалось доказать.

Замечание 1. Как выше отмечено, при выполнении условий леммы 1, с учетом (7) функция u однозначно определяется в $C^{2,1,1}(\bar{\Omega})$. Следовательно, на основе теоремы вложения К. Фридрихса альтернативно можем считать, что функция u единственным образом определяется и в пространстве $W_h^2(\Omega)$, т.е.:

$$u \in W_h^2(\Omega) = \{u : u \in C(\bar{\Omega}); u_x, u_{x^2}, u_y, u_t \in L_h^2(\Omega), (0 \leq h(t) \in L^1(0, \infty))\}.$$

При выполнении условий леммы 1 из соотношения (14), с учетом дифференцирования по y , имеем интегральное уравнение первого рода:

$$H\theta \equiv \int_0^x \int_0^b K(x, \tau, y, \nu) \theta^2(\tau, \nu) d\nu d\tau = F(x, y), \quad (21)$$

где

$$\begin{cases} F(x, y) \equiv \frac{\partial}{\partial y} (f(T))^{-1} \{g(x, y) + [\int_0^y \lambda(\nu) e^{-dT} \cdot \phi_\nu(x, \nu) d\nu + \\ + \int_0^T e^{-d(T-s)} [\lambda(y) \int_0^x (x-\tau) W(\tau, y, s) d\tau - \int_0^y \lambda'(\nu) \int_0^x (x-\tau) W(\tau, \nu, s) d\tau d\nu] ds + \\ + \int_0^y \lambda(\nu) \Psi[e^{-dT} \cdot \phi(x, \nu) + \int_0^T e^{-d(T-s)} \int_0^x (x-\tau) W(\tau, \nu, s) d\tau ds] \times [e^{-dT} \phi_x(x, \nu) + \end{cases} \quad (22)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} + \int_0^T e^{-d(T-s)} \int_0^x W(\tau, \nu, s) d\tau ds] d\nu \}, \\ C(\bar{D}_1) \ni F(x, y); F(0, y) \neq 0, \\ |F(0, y)| \leq C_{02}, \forall y \in [0, b], \\ F(x, y_0) \geq \alpha > 0, \forall x \in [0, X], (y_0 \in [0, b]). \end{array} \right.$$

Известно, что при условии (22) интегральное уравнение первого рода (21) некорректно поставленное, т.е. не имеет решения в $C(\bar{D}_1)$. Поэтому, чтобы доказать регуляризируемость (21) в обобщенном смысле, сперва проводим следующие математические преобразования.

Если допускаем

$$(H\theta)(x, y_0) \equiv \int_0^x \int_0^b K(x, \tau, y_0, \nu) \theta^2(\tau, \nu) d\nu d\tau = F(x, y_0) \quad (23)$$

и выполнение условий (4), (22), а также

$$\left\{ \begin{array}{l} h(x) \equiv [\gamma + \frac{1}{\alpha} \lambda(x)] F(x, y_0) \geq m > 0, (1 < \gamma = const), \\ h_0(x) \equiv \gamma + \frac{1}{\alpha} \lambda(x); 0 \leq \lambda(x) \in L^1(0, X), \\ h_0(x) \leq C_{03} h(x), (C_{03} = \alpha^{-1}; 0 < \max C_{0j} = \tilde{C}_1, j = \overline{1, 4}), \\ C_0 = \max(1, C_{01} \tilde{C}_1^k), (k = \overline{1, 5}), \\ \phi_0(x) = \int_0^x [\gamma + \frac{1}{\alpha} \lambda(\tau)] F(\tau, y_0) d\tau = \int_0^x h(\tau) d\tau, \\ F_0(x, y) \equiv F(x, y) - F(0, y); |F_0(x, y)| \leq C_{04}, \forall (x, y) \in \bar{D}_1, \\ \text{например } \lambda(x) \equiv \frac{1}{4\sqrt[4]{x^3}}: \\ |F_0(x, y) - F_0(\tau, y)| \leq L_{F_0}(x - \tau) \leq L_{F_0} \frac{1}{\gamma\alpha} \int_\tau^x [\gamma + \frac{1}{\alpha} \lambda(\tau)] F(\tau, y_0) d\tau = \\ = L_{F_0} M_0(\phi_0(x) - \phi_0(\tau)), (\tau \leq x; \gamma > 1; M_0 = \frac{1}{\gamma\alpha}), \\ x \in [0, X]: x = (\sqrt[4]{x})^{\frac{7}{2}} (\sqrt[4]{x})^{\frac{1}{2}} \leq M_1(\phi_0(x))^{\frac{7}{2}}, \\ x \leq M_1(\sqrt[4]{X})^{\frac{3}{2}} (\phi_0(x))^2 \leq M_2(\phi_0(x))^2, \\ M_1 = X^{\frac{1}{8}}; M_2 = X^{\frac{1}{8}} (\sqrt[4]{X})^{\frac{3}{2}} = X^{\frac{1}{2}}, \\ \chi \equiv \rho^k \exp(-\rho); \sup_{\rho \geq 0} \chi(\rho) = k^k \exp(-k), (k = 1, 2, \frac{7}{2}), \\ \rho = 0: \chi(0) = 0; \rho \rightarrow \infty: \chi \rightarrow 0, \end{array} \right. \quad (24)$$

то уравнение (21) эквивалентно преобразуется к виду:

$$\begin{cases} \int_0^x h(\tau)\theta(\tau, y)d\tau = (Q\theta)(x, y) + F(x, y), \\ Q\theta \equiv \int_0^x h_0(\tau)\theta(\tau, y)(H\theta)(\tau, y_0)d\tau + (H\theta)(x, y). \end{cases} \quad (25)$$

Далее, рассмотрим уравнение с малым параметром ε вида

$$\begin{cases} \varepsilon\theta_\varepsilon(x, y) + (\Phi\theta_\varepsilon)(x, y) = F_\varepsilon(x, y), \\ (\Phi\theta_\varepsilon)(x, y) \equiv \int_0^x h(\tau)\theta_\varepsilon(\tau, y)d\tau - (Q\theta_\varepsilon)(x, y), \end{cases} \quad (26)$$

с условием

$$\begin{cases} \theta_\varepsilon(0, y) = \frac{1}{\varepsilon}F(0, y), \\ \tilde{N}(\bar{D}_1) \ni F_\varepsilon(x, y) : \|F_\varepsilon(x, y) - F(x, y)\|_C \leq \Delta_0(\varepsilon), \\ F_\varepsilon(0, y) = F(0, y). \end{cases} \quad (27)$$

При этом решение интегрального уравнения (26) ищем по правилу

$$\begin{cases} \theta_\varepsilon(x, y) = \frac{1}{\varepsilon}\Pi_\varepsilon(x, y) + \nu(x, y) + \xi_\varepsilon(x, y), \\ \Pi_\varepsilon(0, y) = F(0, y), \nu(0, y) = 0, \xi_\varepsilon(0, y) = 0, \end{cases} \quad (28)$$

причем относительно неизвестных функций имеют место

$$\Pi_\varepsilon(x, y) = -\frac{1}{\varepsilon}\int_0^x h(\tau)\Pi_\varepsilon(\tau, y)d\tau + F(0, y), \quad (29)$$

$$\int_0^x h(\tau)\nu(\tau, y)d\tau = (Q\nu)(x, y) + F_0(x, y), \quad (\text{см. (24)}) \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon\xi_\varepsilon + \int_0^x h(\tau)\xi_\varepsilon(\tau, y)d\tau &= (Q[\frac{1}{\varepsilon}\Pi_\varepsilon + \nu + \xi_\varepsilon])(x, y) - (Q\nu)(x, y) + F_\varepsilon(x, y) - \\ &- F(x, y) - \varepsilon\nu(x, y), \end{aligned} \quad (31)$$

где:

а) $\Pi_\varepsilon(x, y)$ – является решением (29), которое доопределяет особую функцию $\Omega_\varepsilon(x, y)$ с условием

$$|\Omega_\varepsilon(x, y)| \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} \begin{cases} 0, x \neq 0, \\ \infty, x = 0; \end{cases} \quad (*)$$

б) $\nu(x, y)$ – решение видоизмененного вырожденного уравнения (30), где свободный член в начале отрезка $[0, X]$ обращается в нуль. При этом функция $\nu(x, y) \in C(\bar{D}_1)$ и доказывается, что система (30) регуляризируема в $C(\bar{D}_1)$;

в) функция $\xi_\varepsilon(x, y)$ определяется единственным образом из (31), причем сходится к нулю в смысле $C(\bar{D}_1)$, когда малый параметр: $\varepsilon \rightarrow 0$.

1. В самом деле, во-первых, из (29) следует

$$\begin{cases} \Pi_{\varepsilon}(x, y) = F(0, y) \exp(-\frac{1}{\varepsilon} \varphi_0(x)), \\ |\Pi_{\varepsilon}(x, y)| \leq C_{02} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} \varphi_0(x)) \leq C_0 \exp(-\frac{1}{\varepsilon} \varphi_0(x)). \end{cases} \quad (32)$$

Значит, получим (*).

2. Во-вторых, так как функция $v(x, y)$ является решением уравнения (30), то, введя уравнение с малым параметром вида

$$\delta v_{\delta}(x, y) + \int_0^x h(\tau) v_{\delta}(\tau, y) d\tau = (Qv_{\delta})(x, y) + F_0(x, y), \quad (33)$$

можем доказать следующую лемму:

Лемма 2. Если выполняются условия леммы 1 и при этом уравнение (30) имеет решение с условиями (22), (24) и (28), то решение уравнения (33) равномерно сходится к решению (30) при $\delta \rightarrow 0$.

Доказательство. В условиях леммы 2 уравнение (33) преобразуем к виду

$$\begin{aligned} v_{\delta}(x, y) = & -\frac{1}{\delta^2} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\delta}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau))) \{ (Qv_{\delta})(\tau, y) - (Qv_{\delta})(x, y) + \\ & + F_0(\tau, y) - F_0(x, y) \} d\tau + \frac{1}{\delta} \exp(-\frac{1}{\delta} \varphi_0(x)) \{ (Qv_{\delta})(x, y) + F_0(x, y) \} \end{aligned} \quad (34)$$

и проводим оценки вида

$$\begin{aligned} & \left\{ \begin{aligned} & a_1) \quad \left| \frac{1}{\delta^2} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\delta}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau))) \{ (Qv_{\delta})(x, y) - (Qv_{\delta})(\tau, y) \} d\tau \right| \leq \\ & \leq \left| \frac{1}{\delta^2} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\delta}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau))) \left\{ \int_{\tau}^x h_0(\tilde{\tau}) |v_{\delta}(\tilde{\tau}, y)| d\tilde{\tau} \int_0^{\tilde{\tau}} \int_0^b |K(\tilde{\tau}, \bar{\tau}, y_0, v)| \times \right. \right. \\ & \times |v_{\delta}^2(\bar{\tau}, v)| dv d\bar{\tau} d\tilde{\tau} + \int_0^{\tau} \int_0^b |K(x, \bar{\tau}, y, v) - K(\tau, \bar{\tau}, y, v)| \times |v_{\delta}^2(\bar{\tau}, v)| dv d\bar{\tau} + \\ & + \int_{\tau}^x \int_0^b |K(x, \bar{\tau}, y, v)| \times |v_{\delta}^2(\bar{\tau}, v)| dv d\bar{\tau} d\tau \leq 2[C_{01} b X \frac{1}{\alpha} r_1^2 + b \frac{1}{\alpha \gamma} r_1 \times \\ & \times (L_K X + C_{01})] \int_0^{\infty} e^{-z} z dz \|v_{\delta}\|_C = N_0 \|v_{\delta}\|_C; \\ & \left| \frac{1}{\delta} \exp(-\frac{1}{\delta} \varphi_0(x)) (Qv_{\delta})(x, y) \right| \leq \frac{1}{\delta} \exp(-\frac{1}{\delta} \varphi_0(x)) \left\{ \int_0^x h_0(\tau) |v_{\delta}(\tau, y)| \times \right. \\ & \times \left[\int_0^{\tau} \int_0^b |K(\tau, \bar{\tau}, y_0, v)| \times |v_{\delta}^2(\bar{\tau}, v)| dv d\bar{\tau} d\tau + \int_0^{\tau} \int_0^b |K(x, \tau, y, v)| \times \right. \\ & \times |v_{\delta}^2(\tau, v)| dv d\tau \} \leq \left[\frac{1}{\alpha} (\frac{1}{\delta} \varphi_0(x) \exp(-\frac{1}{\delta} \varphi_0(x))) X C_{01} b r_1^2 + C_{01} b r_1 M_1 \delta \times \right. \\ & \times (\frac{1}{\delta} \varphi_0(x))^2 \exp(-\frac{1}{\delta} \varphi_0(x)) \|v_{\delta}\|_C \leq \left[\frac{1}{\alpha} e^{-1} X C_0 b r_1^2 + C_0 b r_1 M_1 \delta^2 e^{-2} \right] \|v_{\delta}\|_C \leq N_1 \|v_{\delta}\|_C, \\ & 0 < \delta < 1; \rho \equiv \frac{1}{\delta} \varphi_0(x); \chi(\rho) = \rho^k \exp(-\rho), (k=1, 2), \int_0^{\infty} e^{-s} s ds = 1, \\ & S_{r_1}(0) = \{v_{\delta}(x, y) \in C(\bar{D}_1) : |v_{\delta}(x, y)| \leq r_1, \forall (x, y) \in \bar{D}_1\}, \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

а также

$$\begin{aligned} a_2) \mid \frac{1}{\delta^2} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))) \{F_0(x, y) - F_0(\tau, y)\} d\tau + \\ + \frac{1}{\delta} \exp(-\frac{1}{\delta} \phi_0(x)) F_0(x, y) \mid \leq \mid \frac{1}{\delta^2} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))) \times \\ \times L_{F_0}(x - \tau) d\tau + L_{F_0} \frac{x}{\delta} \exp(-\frac{1}{\delta} \phi_0(x)) \leq \frac{1}{\alpha \gamma} L_{F_0} \int_0^x \exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))) \times \\ \times \frac{1}{\delta} (\phi_0(x) - \phi_0(\tau)) d(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))) + L_{F_0} M_2 \delta (\frac{1}{\delta} \phi_0(x))^2 \exp(-\frac{1}{\delta} \phi_0(x)) \leq \\ \leq L_{F_0} [\frac{1}{\alpha \gamma} \int_0^\infty e^{-z} z dz + 2^2 e^{-2} M_2 \delta] \leq L_0. \end{aligned}$$

Тогда имеет место

$$\begin{cases} \left\| v_\delta(x, y) \right\|_N \leq (1 - q_0)^{-1} L_0 = r_1, \\ q_0 = N_0 + N_1 < 1. \end{cases} \quad (35)$$

С другой стороны, с помощью подстановки: $v_\delta(x, y) = v(x, y) + \mu_\delta(x, y)$, для любого

$$\mu_\delta(x, y) \in S_{r_2}(0) = \left\{ \mu_\delta(x, y) \in C(\bar{D}_1) : \left| \mu_\delta(x, y) \right| \leq r_2, \forall (x, y) \in \bar{D}_1 \right\},$$

получим

$$\delta \mu_\delta(x, y) + \int_0^x h(\tau) \mu_\delta(\tau, y) d\tau = (Q[v + \mu_\delta])(x, y) - (Qv)(x, y) - \delta v(x, y),$$

или на основе резольвенты имеем

$$\begin{aligned} \mu_\delta(x, y) = -\frac{1}{\delta^2} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))) \{ (Q[v + \mu_\delta])(\tau, y) - (Qv)(\tau, y) - \\ - (Q[v + \mu_\delta])(x, y) + (Qv)(x, y) \} d\tau + \frac{1}{\delta} \exp(-\frac{1}{\delta} \phi_0(x)) \{ (Q[v + \mu_\delta])(x, y) - (Qv)(x, y) \} + \Delta(\delta, v), \end{aligned} \quad (36)$$

где

$$\begin{cases} \Delta(\delta, v) = -\frac{1}{\delta} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))) [-v(\tau, y) + v(x, y)] d\tau - v(x, y) \exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x))), \\ \left\| \Delta(\delta, v) \right\|_N \leq L_v \left\{ \int_0^x (\exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau)))) (x - \tau) d(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))) + x \exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x))) \right\} \leq \\ \leq L_v \frac{1}{\gamma \alpha} \left\{ \int_0^x (\exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau)))) \left[\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau)) \right] \delta d(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))) + \right. \\ \left. + \delta (\frac{1}{\delta} \phi_0(x)) \exp(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x))) \right\} \leq L_v \frac{1}{\gamma \alpha} \delta \left\{ \int_0^\infty e^{-z} z dz + e^{-1} \right\} \leq \beta \delta, \\ L_v \frac{1}{\gamma \alpha} \left\{ \int_0^\infty e^{-z} z dz + e^{-1} \right\} \leq 2 L_v \frac{1}{\gamma \alpha} = \beta, (0 < L_v = const), \\ \left| v(x, y) - v(\bar{x}, y) \right| \leq L_v |x - \bar{x}|. \end{cases} \quad (37)$$

Следовательно, учитывая оценки вида

$$\left\{ \begin{aligned} & a_3) \mid \frac{1}{\delta^2} \int_0^x h(\tau) \exp\left(-\frac{1}{\delta}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))\right) \left\{ \int_{\tau}^x h_0(\tilde{\tau}) [\nu(\tilde{\tau}, y) + \mu_{\delta}(\tilde{\tau}, y)] \times \right. \\ & \times \int_0^{\tilde{\tau}} \int_0^b K(\tilde{\tau}, \bar{\tau}, y_0, \nu) [2\nu(\bar{\tau}, \nu) \mu_{\delta}(\bar{\tau}, \nu) + \mu_{\delta}^2(\bar{\tau}, \nu)] d\nu d\bar{\tau} d\tilde{\tau} + \\ & + \int_{\tau}^x h_0(\tilde{\tau}) \mu_{\delta}(\tilde{\tau}, y) \int_0^{\tilde{\tau}} \int_0^b K(\tilde{\tau}, \bar{\tau}, y_0, \nu) \nu^2(\bar{\tau}, \nu) d\nu d\bar{\tau} d\tilde{\tau} + \int_0^{\tau} \int_0^b [K(x, \bar{\tau}, y, \nu) - \\ & - K(\tau, \bar{\tau}, y, \nu)] \times [2\nu(\bar{\tau}, \nu) \mu_{\delta}(\bar{\tau}, \nu) + \mu_{\delta}^2(\bar{\tau}, \nu)] d\nu d\bar{\tau} + \int_{\tau}^x \int_0^b K(x, \bar{\tau}, y, \nu) \times \\ & \times [2\nu(\bar{\tau}, \nu) \mu_{\delta}(\bar{\tau}, \nu) + \mu_{\delta}^2(\bar{\tau}, \nu)] d\nu d\bar{\tau} d\tau \mid \leq 2 \frac{1}{\alpha} \{ bXC_{01}(\tilde{r}_1 + r_2)(2\tilde{r}_1 + r_2) + \\ & + \tilde{r}_1^2 bXC_{01} + b \frac{1}{\gamma} (2\tilde{r}_1 + r_2)(L_K X + C_{01}) \} \|\mu_{\delta}(x, y)\|_C = \tilde{N}_0 \|\mu_{\delta}(x, y)\|_C; \\ & \left| \frac{1}{\delta} \exp\left(-\frac{1}{\delta} \phi_0(x)\right) (Q[\nu + \mu_{\delta}])(x, y) - (Q\nu)(x, y) \right| \leq \frac{1}{\delta} \exp\left(-\frac{1}{\delta} \phi_0(x)\right) \times \\ & \times \left[\int_0^x \int_0^b |K(x, \tau, y, \nu)| \times |2\nu(\tau, \nu) \mu_{\delta}(\tau, \nu) + \mu_{\delta}^2(\tau, \nu)| d\nu d\tau + \right. \\ & + \int_0^x h_0(\tau) |\nu(\tau, y) + \mu_{\delta}(\tau, y)| \int_0^{\tau} \int_0^b |K(\tau, \bar{\tau}, y_0, \nu)| \times |2\nu(\bar{\tau}, \nu) \mu_{\delta}(\bar{\tau}, \nu) + \\ & + \mu_{\delta}^2(\bar{\tau}, \nu)| d\nu d\bar{\tau} d\tau + \int_0^x h_0(\tau) |\mu_{\delta}(\tau, y)| \int_0^{\tau} \int_0^b |K(\tau, \bar{\tau}, y_0, \nu)| \times \\ & \times |\nu^2(\bar{\tau}, \nu)| d\nu d\bar{\tau} d\tau \mid \leq [C_{01} b M_2 (2\tilde{r}_1 + r_2)^2 e^{-2} \delta + C_{01} b X \frac{1}{\alpha} (\tilde{r}_1 + r_2) \times \\ & \times (2\tilde{r}_1 + r_2) e^{-1} + C_{01} b X \frac{1}{\alpha} \tilde{r}_1^2 e^{-1}] \|\mu_{\delta}(x, y)\|_C \leq \tilde{N}_1 \|\mu_{\delta}(x, y)\|_C, (0 < \delta < 1), |\nu| \leq \tilde{r}_1, \forall (x, y) \in \bar{D}_1, \end{aligned} \right.$$

из (36) имеем

$$\left\{ \begin{aligned} & \|\mu_{\delta}(x, y)\|_C \leq (1 - q_1)^{-1} \beta \delta, \\ & q_1 = \max(q_0 < 1, \tilde{q}_0 < 1), (\tilde{q}_0 = \tilde{N}_0 + \tilde{N}_1 < 1). \end{aligned} \right. \quad (38)$$

А это означает, что

$$\nu_{\delta}(x, y) \xrightarrow{\delta \rightarrow 0} \nu(x, y), \forall (x, y) \in \bar{D}_1, \quad (39)$$

т.е. сходится в смысле $C(\bar{D}_1)$. Что и требовалось доказать.

3. Чтобы определить функцию $\xi_{\varepsilon}(x, y)$, сперва (31) преобразуем к виду

$$\begin{aligned} \xi_{\varepsilon}(x, y) = & -\frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^x h(\tau) \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(x) - \phi_0(\tau))\right) \{ (Q[\nu + \xi_{\varepsilon} + \frac{1}{\varepsilon} \Pi_{\varepsilon}])(\tau, y) - \\ & - (Q\nu)(\tau, y) - (Q[\nu + \xi_{\varepsilon} + \frac{1}{\varepsilon} \Pi_{\varepsilon}])(x, y) + (Q\nu)(x, y) \} d\tau + \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon} \phi_0(x)\right) \times \\ & \times \{ (Q[\nu + \xi_{\varepsilon} + \frac{1}{\varepsilon} \Pi_{\varepsilon}])(x, y) - (Q\nu)(x, y) \} + \Delta(\varepsilon, \nu) + \Delta_1(\varepsilon, F_{\varepsilon}, F), \end{aligned} \quad (40)$$

где

$$\begin{cases} \Delta(\varepsilon, \nu) = -\frac{1}{\varepsilon} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau))[-\nu(\tau, y) + \nu(x, y)]d\tau - \nu(x, y) \exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(x))), \\ \Delta_1(\varepsilon, F_\varepsilon, F) = -\frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau)))\{F_\varepsilon(\tau, y) - F(\tau, y)\}d\tau + \frac{1}{\varepsilon}[F_\varepsilon(x, y) - F(x, y)], \end{cases} \quad (41)$$

$$\begin{cases} \|\Delta(\varepsilon, \nu)\|_{\tilde{n}} \leq L_\nu \frac{1}{\gamma\alpha} \left\{ \int_0^x (\exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau))) [\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau))] \varepsilon d(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau))) + \right. \\ \left. + \varepsilon(\frac{1}{\varepsilon} \varphi_0(x)) \exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(x))) \leq L_\nu \frac{1}{\gamma\alpha} \varepsilon \left\{ \int_0^\infty e^{-z} z dz + e^{-1} \right\} \leq \beta \varepsilon. \text{ (см (37)).} \right. \end{cases}$$

Далее, для оценки (40) учитываем

$$\begin{cases} a_4) |\Delta_1(\varepsilon, F_\varepsilon, F)| \leq \frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau))) |F_\varepsilon(\tau, y) - F(\tau, y)| d\tau + \\ + \frac{1}{\varepsilon} |F_\varepsilon(x, y) - F(x, y)| \leq \frac{2}{\varepsilon} \Delta_0(\varepsilon), (\frac{1}{\varepsilon} \Delta_0(\varepsilon) \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} 0); \\ \frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^x h(\tau) \exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(x) - \varphi_0(\tau))) \left\{ \int_\tau^x h_0(\tilde{\tau}) | \nu(\tilde{\tau}, y) + \xi_\varepsilon(\tilde{\tau}, y) + \right. \\ + \frac{1}{\varepsilon} \Pi_\varepsilon(\tilde{\tau}, y) | \times \int_0^{\tilde{\tau}} \int_0^b |K(\tilde{\tau}, \bar{\tau}, y_0, \nu)| [2 | \nu(\bar{\tau}, \nu) | \times | \xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu) | + \xi_\varepsilon^2(\bar{\tau}, \nu) + \\ + 2 \frac{1}{\varepsilon} | \Pi_\varepsilon(\bar{\tau}, y) | (| \nu(\bar{\tau}, \nu) | + | \xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu) |)] dv d\bar{\tau} d\tilde{\tau} + \\ + \int_\tau^x h_0(\tilde{\tau}) | \xi_\varepsilon(\tilde{\tau}, y) + \frac{1}{\varepsilon} \Pi_\varepsilon(\tilde{\tau}, y) | \left| \int_0^{\tilde{\tau}} \int_0^b |K(\tilde{\tau}, \bar{\tau}, y_0, \nu)| \nu^2(\bar{\tau}, \nu) dv d\bar{\tau} d\tilde{\tau} + \right. \\ \left. + \int_0^{\tilde{\tau}} \int_0^b |K(x, \bar{\tau}, y, \nu) - K(\tau, \bar{\tau}, y, \nu)| [2 | \nu(\bar{\tau}, \nu) | \times | \xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu) | + \xi_\varepsilon^2(\bar{\tau}, \nu) + \right. \\ + 2 \frac{1}{\varepsilon} | \Pi_\varepsilon(\bar{\tau}, y) | (| \nu(\bar{\tau}, \nu) | + | \xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu) |)] dv d\bar{\tau} + \int_\tau^x \int_0^b |K(x, \bar{\tau}, y, \nu) | \times \\ \times [2 | \nu(\bar{\tau}, \nu) | \times | \xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu) | + \xi_\varepsilon^2(\bar{\tau}, \nu) + 2 \frac{1}{\varepsilon} | \Pi_\varepsilon(\bar{\tau}, y) | (| \nu(\bar{\tau}, \nu) | + \\ + | \xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu) |) + \frac{1}{\varepsilon^2} \Pi_\varepsilon^2(\bar{\tau}, y)] dv d\bar{\tau} \} d\tau \leq \frac{1}{\alpha} (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2) [bXC_{01}(2\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2) + \\ + 2bC_{01}C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}) \|\xi_\varepsilon\|_C + \frac{1}{\alpha} (\tilde{r}_1 + \|\xi_\varepsilon\|_C) [2\tilde{r}_1 bC_{01}C_0 \times \\ \times \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau} + bC_{01}C_0^2 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp(-\frac{2}{\varepsilon}(\varphi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}) + \frac{1}{\alpha} bC_{01}C_0^2 \times \\ \times [2\tilde{r}_1 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp(-\frac{1}{\varepsilon}(\varphi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau} + C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^3} \exp(-\frac{2}{\varepsilon}(\varphi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}) + \frac{1}{\alpha} bC_{01}C_0 [2C_0 \times \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
& \times \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau} + (2\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2) \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}\right)\|\xi_\varepsilon\|_C + \right. \\
& + \frac{1}{\alpha} b C_{01} \tilde{r}_1^2 [X \|\xi_\varepsilon\|_C + C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}\right] + L_K \frac{1}{\gamma \alpha} b \{ [X(2\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2) + \\
& + 2C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}\right)\|\xi_\varepsilon\|_C + 2\tilde{r}_1 C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}\right) + C_0^2 \times \\
& \left. \times \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp\left(-\frac{2}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}\right\} + b C_{01} \left\{ \frac{1}{\gamma \alpha} (2\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2) \|\xi_\varepsilon\|_C + 2C_0 \tilde{r}_1 \times \right. \right. \\
& \left. \times \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau} + 2C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}\right)\|\xi_\varepsilon\|_C + \right. \\
& \left. + C_0^2 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^3} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}\right\} \leq T_3 \sqrt{\varepsilon} + \tilde{q}_1 \|\xi_\varepsilon\|_C, \\
& |\xi_\varepsilon(x, y)| \leq \tilde{r}_2, \forall (x, y) \in \bar{D}_1,
\end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned}
& \left\{ a_5 \right\} \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(x))\right) \left| (Q[\nu + \xi_\varepsilon + \frac{1}{\varepsilon} \Pi_\varepsilon])(x, y) - (Q\nu)(x, y) \right| \leq \\
& \leq \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(x))\right) \left\{ \int_0^x h(\tilde{\tau}) \left| \nu(\tilde{\tau}, y) + \xi_\varepsilon(\tilde{\tau}, y) + \frac{1}{\varepsilon} \Pi_\varepsilon(\tilde{\tau}, y) \right| \times \right. \\
& \times \int_0^{\tilde{\tau}} \int_0^b |K(\tilde{\tau}, \bar{\tau}, y_0, \nu)| [2|\nu(\bar{\tau}, \nu)| \times |\xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu)| + \xi_\varepsilon^2(\bar{\tau}, \nu) + \\
& + 2\frac{1}{\varepsilon} |\Pi_\varepsilon(\bar{\tau}, y)| (|\nu(\bar{\tau}, \nu)| + |\xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu)|) + \frac{1}{\varepsilon^2} \Pi_\varepsilon^2(\bar{\tau}, \nu)] dv d\bar{\tau} d\tilde{\tau} + \\
& + \int_0^x h_0(\tilde{\tau}) \left| \xi_\varepsilon(\tilde{\tau}, y) + \frac{1}{\varepsilon} \Pi_\varepsilon(\tilde{\tau}, y) \right| \int_0^{\tilde{\tau}} \int_0^b |K(\tilde{\tau}, \bar{\tau}, y_0, \nu)| \nu^2(\bar{\tau}, \nu) dv d\bar{\tau} d\tilde{\tau} + \\
& + \int_0^x \int_0^b |K(x, \bar{\tau}, y, \nu)| [2|\nu(\bar{\tau}, \nu)| \times |\xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu)| + \xi_\varepsilon^2(\bar{\tau}, \nu) + \\
& + 2\frac{1}{\varepsilon} |\Pi_\varepsilon(\bar{\tau}, y)| (|\nu(\bar{\tau}, \nu)| + |\xi_\varepsilon(\bar{\tau}, \nu)|) + \frac{1}{\varepsilon^2} \Pi_\varepsilon^2(\bar{\tau}, \nu)] dv d\bar{\tau} \} \leq \\
& \leq \frac{1}{\alpha} (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2) [bXC_{01}(2\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2) + 2bC_{01}C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon}(\phi_0(\bar{\tau}))d\bar{\tau}\right)\|\xi_\varepsilon\|_C +
\end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{aligned} & + \frac{1}{\alpha} (\tilde{r}_1 + \|\xi_\varepsilon\|_C) [2\tilde{r}_1 b C_{01} C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau} + b C_{01} C_0^2 \times \\ & \times \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp(-\frac{2}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau}) + \frac{1}{\alpha} b C_{01} C_0^2 [2\tilde{r}_1 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau} + \\ & + C_6 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^3} \exp(-\frac{2}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau}) + \frac{1}{\alpha} b C_{01} C_0 [2C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau} + \\ & + (2\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2) \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau}) \|\xi_\varepsilon\|_C + \frac{1}{\alpha} b C_{01} \tilde{r}_1^2 [X \|\xi_\varepsilon\|_C + \\ & + C_0 \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau}) + [b C_{01} (2\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2) M_1 \varepsilon^{\frac{5}{2}} (\frac{1}{\varepsilon} \phi_0(x))^{\frac{7}{2}} \times \\ & \times \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(x)) + 2C_{01} b C_0 M_1 \varepsilon^{\frac{3}{2}} (\frac{1}{\varepsilon} \phi_0(x))^{\frac{7}{2}} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(x)))] \|\xi_\varepsilon\|_C + \\ & + C_{01} b C_0^2 M_1 \sqrt{\varepsilon} (\frac{1}{\varepsilon} \phi_0(x))^{\frac{7}{2}} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(x)) \leq \tilde{T}_3 \sqrt{\varepsilon} + \tilde{q}_2 \|\xi_\varepsilon\|_C, \end{aligned} \right.$$

здесь учтены

$$\left\{ \begin{aligned} & \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^3} \exp(-\frac{2}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau} = \frac{1}{\varepsilon^3} \bar{\tau} \exp(-\frac{2}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) \Big|_0^x + \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^3} \bar{\tau} \times \\ & \times \exp(-\frac{2}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d(\frac{2}{\varepsilon} \phi_0(\bar{\tau})) \leq \frac{1}{\varepsilon^3} x \exp(-\frac{2}{\varepsilon} (\phi_0(x)) + M_1 \frac{1}{\sqrt{2^7}} \sqrt{\varepsilon} \times \\ & \times \int_0^x (\frac{2}{\varepsilon} \phi_0(\bar{\tau}))^{\frac{7}{2}} \exp(-\frac{2}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d(\frac{2}{\varepsilon} \phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau} \leq M_1 \frac{1}{\sqrt{2^7}} \sqrt{\varepsilon} [(\frac{2}{\varepsilon} \phi_0(x))^{\frac{7}{2}} \times \\ & \times \exp(-\frac{2}{\varepsilon} (\phi_0(x)) + \int_0^{\frac{2}{\varepsilon} \phi_0(x)} \rho^{\frac{7}{2}} e^{-\rho} d\rho] \leq M_1 \frac{1}{\sqrt{2^7}} \sqrt{\varepsilon} [(\frac{7}{2})^{\frac{7}{2}} e^{-\frac{7}{2}} + \int_0^\infty \rho^{\frac{7}{2}} e^{-\rho} d\rho] = \\ & = M_1 \frac{1}{\sqrt{2^7}} \sqrt{\varepsilon} [(\frac{7}{2})^{\frac{7}{2}} e^{-\frac{7}{2}} + \frac{105}{8} \int_0^\infty \rho^{\frac{1}{2}} e^{-\rho} d\rho] = \sqrt{\varepsilon} M_1 \frac{1}{\sqrt{2^7}} [(\frac{7}{2})^{\frac{7}{2}} e^{-\frac{7}{2}} + \frac{105\sqrt{\pi}}{16}] = \\ & = T_1 \sqrt{\varepsilon}, \\ & \text{аналогично:} \\ & \int_0^x \frac{1}{\varepsilon} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau} \leq M_1 \varepsilon^{\frac{5}{2}} \left[\left(\frac{7}{2} \right)^{\frac{7}{2}} e^{-\frac{7}{2}} + \frac{105\sqrt{\pi}}{16} \right] = T_2 \varepsilon^{\frac{5}{2}}, \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} & \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp(-\frac{1}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau} \leq T_2 \varepsilon^{\frac{3}{2}}, \\ & \int_0^x \frac{1}{\varepsilon^2} \exp(-\frac{2}{\varepsilon} (\phi_0(\bar{\tau})) d\bar{\tau} \leq T_1 \varepsilon^{\frac{3}{2}}, (0 < T_i = const, i = 1, 2; 0 < \varepsilon < 1). \end{aligned} \right.$$

Поэтому из оценки (40) следует

$$\begin{cases} \left\| \xi_{\varepsilon}(x, y) \right\|_c \leq (1-q)^{-1} [\beta \varepsilon + \frac{2}{\varepsilon} \Delta_0(\varepsilon) + T_0 \sqrt{\varepsilon}] = \Delta_2(\varepsilon) \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} 0, \\ \frac{1}{\varepsilon} \Delta_0(\varepsilon) \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} 0, \\ q = \max(q_1 < 1, \tilde{q}_1 + \tilde{q}_2 < 1), \\ T_0 = T_3 + \tilde{T}_3. \end{cases} \quad (42)$$

Лемма 3. При условиях леммы 1 и (24), (27), (32), (41), (42) уравнение (31) разрешимо в $C(\bar{D}_1)$, причем при $\varepsilon \rightarrow 0$ сходится к нулю в смысле $C(\bar{D}_1)$.

Заключение

А) Если выполняются условия лемм 1–3, то решение уравнения (26) единственным образом представимо в виде (28), при этом*** $\forall y \in (0, T]$ решение уравнения (26) сходится (неравномерная сходимость) при $\varepsilon \rightarrow 0$ к решению уравнения (30) с оценкой:

$$\begin{cases} |\theta_{\varepsilon} - v| \leq \Delta_2(\varepsilon) + \frac{1}{\varepsilon} |\Pi_{\varepsilon}(x, y)| \leq \Delta_2(\varepsilon) + \frac{1}{\varepsilon} C_0 \exp(-\frac{1}{\varepsilon} \varphi_0(x)), \\ |\Pi_{\varepsilon}(x, y)| \leq C_0 \exp(-\frac{1}{\varepsilon} \varphi_0(x)). \end{cases} \quad (43)$$

Б) А в случае: $x = 0: \theta_{\varepsilon}(0, y) = \frac{1}{\varepsilon} F(0, y)$.

Кроме того, имеет место (*). Поэтому, учитывая вышеуказанные дефекты, пока не можем сказать о близости решений уравнений (26) и (30) в определенном смысле.

Чтобы полноценно оценить близости решений уравнений (26), (30) в этом пространстве, докажем теорему.

Теорема 1. Пусть имеют место условия лемм 1–3 и имеет место (43). Тогда следуют

$$1) \left\| \Pi_{\varepsilon} \right\|_{Z^2(D_1)} \leq \gamma_1 \varepsilon^{\frac{7}{4}}, (\gamma_1 = C_0 \sqrt{M_1 b} e^{-\frac{7}{4}} [(\frac{7}{2})^{\frac{7}{2}} e^{-\frac{7}{2}} + \frac{105}{16} \sqrt{\pi}]^{\frac{1}{2}}), \quad (44)$$

$$2) \left\| \theta_{\varepsilon} - v \right\|_{Z^2(D_1)} \leq 2[\Delta_2(\varepsilon) \sqrt{Xb} + \gamma_1 \varepsilon^{\frac{3}{4}}] = \tilde{M}_0(\varepsilon), \quad (45)$$

$$3) \left\| (\Phi \theta_{\varepsilon})(x, y) - F(x, y) \right\|_{Z^2(D_1)} \leq \tilde{M}(\varepsilon), (\tilde{M}_0(\varepsilon), \tilde{M}(\varepsilon) \rightarrow 0 \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0).$$

Доказательство. Рассматривая второе соотношение формулы (43) в смысле нормы пространства $Z^2(D_1)$, получим

$$\begin{aligned} \left\| \Pi_{\varepsilon} \right\|_{Z^2} &\leq C_0 \left(\sup_{[0, X]} \int_0^{\tilde{\sigma}} \int_0^{\tilde{\sigma}} \exp(-\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(\tau)) d\tau dv \right)^{\frac{1}{2}} = C_0 \sqrt{b} \sup_{[0, X]} [\tau \exp(-\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(\tau))]_0^x + \\ &+ \int_0^x \tau \exp(-\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(\tau)) d(\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(\tau))^{\frac{1}{2}} = C_0 \sqrt{b} \sup_{[0, X]} [x \exp(-\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(x)) + \int_0^x M_1 2^{\frac{7}{2}} \varepsilon^{\frac{7}{2}} (\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(\tau))^{\frac{7}{2}} \times \\ &\times \exp(-\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(\tau)) d(\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(\tau))^{\frac{1}{2}}] \leq C_0 \sqrt{b M_1} 2^{\frac{7}{4}} \varepsilon^{\frac{7}{4}} \sup_{[0, X]} [(\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(x))^{\frac{7}{2}} \exp(-\frac{2}{\varepsilon} \varphi_0(x)) + \int_0^{\infty} e^{-\rho} \rho^{\frac{7}{2}} d\rho]^{\frac{1}{2}} \leq \\ &\leq C_0 \sqrt{b M_1} 2^{\frac{7}{4}} \varepsilon^{\frac{7}{4}} [(\frac{7}{2})^{\frac{7}{2}} e^{-\frac{7}{2}} + \frac{105}{16} \sqrt{\pi}]^{\frac{1}{2}} = \gamma_1 \varepsilon^{\frac{7}{4}}, \end{aligned}$$

т.е. действительно имеет место (44).

Кроме того, из первого соотношения формулы (43) на основе нормы $Z^2(D_1)$ и неравенства $(a_1 + a_2)^n \leq 2^n(a_1^n + a_2^n)$, $a_1 \geq 0, a_2 \geq 0$ следует

$$\|\theta_\varepsilon - v\|_{Z^2} \leq 2[\Delta_2(\varepsilon)\sqrt{Xb} + \gamma_1\varepsilon^{\frac{3}{4}}] = \tilde{M}_0(\varepsilon).$$

А это означает, что и выполняется неравенство (45).

С другой стороны, с учетом (см. (26))

$$|(\Phi\theta_\varepsilon)(x, y) - F(x, y)| = |\varepsilon\theta_\varepsilon + (\Phi\theta_\varepsilon)(x, y) - F_\varepsilon(x, y) - \varepsilon(\theta_\varepsilon - v + v) + F_\varepsilon(x, y) - F(x, y)|,$$

получим

$$\begin{aligned} \|(\Phi\theta_\varepsilon)(x, y) - F(x, y)\|_{Z^2(D_1)} &\leq 4\|F_\varepsilon(x, y) - F(x, y)\|_{Z^2(D_1)} + \varepsilon\|\theta_\varepsilon(x, y) - v(x, y)\|_{Z^2(D_1)} + \\ &+ \varepsilon\tilde{r}_1\sqrt{Xb} \leq 4[\Delta_0(\varepsilon)\sqrt{Xb} + \varepsilon\tilde{M}_0(\varepsilon) + \varepsilon\tilde{r}_1\sqrt{Xb}] = \tilde{M}(\varepsilon) \xrightarrow{\varepsilon \rightarrow 0} 0. \end{aligned}$$

Что и требовалось доказать.

Теорема 2. В условиях леммы 1 и теоремы 2 задача (1)–(3) регуляризуема в $G^2(\Omega)$ в обобщенном смысле.

Заключение

В данной работе рассмотрена многомерная коэффициентная обратная задача с оператором гиперболического типа, вырождающаяся в двумерное интегральное уравнение первого рода с особым решением в $G^2(\Omega)$. Данная задача исследована с помощью метода вспомогательной функции и метода регуляризации, которые позволили выявить достаточные условия разрешимости этих задач и регуляризуемости в $G^2(\Omega)$ в обобщенном смысле. Результаты работы могут быть использованы и в других задачах математической физики, где вырождаются нелинейные некорректные интегральные уравнения первого рода.

Список литературы

1. Шхануков М.Х. О некоторых краевых задачах для уравнения третьего порядка, возникающих при моделировании фильтрации жидкости в пористых средах // Дифференциальные уравнения. 1982. Т. 18. № 4. С. 689–699.
2. Омуров Т.Д. Методы регуляризации интегральных уравнений Вольтерра первого и третьего рода. Бишкек: Илим, 2003. 162 с.

3. Омуров Т.Д., Джумагулов К.Р., Омуров М.Т. Регуляризация обратных задач, где вырождается уравнение Вольтерра первого рода с особым решением // Естественные и математические науки в современном мире: сборник статей по материалам XLII международной научно-практической конференции № 5 (40). Новосибирск: СибАК, 2016. С. 98–110.

4. Омуров Т.Д., Алыбаев А.М., Джумагулов К.Р. Обратная нелокальная задача в неограниченной области, где вырождается неклассическое интегральное уравнение Вольтерра третьего рода // Наука, техника и образование. 2017. № 1 (31). С. 10–15.

5. Джумагулов К.Р. Решение обратной задачи с гиперболическим оператором, где вырождается неклассическое уравнение Вольтерра третьего рода // Вестник КНУ им. Ж. Баласагына. 2018. № 4 (96). С. 17–23.

6. Джумагулов К.Р. Регуляризация обратно-нелокальной задачи с гиперболическим оператором, где вырождается уравнение Вольтерра третьего рода // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2020. Т. 20. № 8. С. 3–10.

7. Чекиров К., Джумагулов К.Р. Получение приближенных оптимальных решений задач, описываемых линейными операторными уравнениями // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 6. С. 164–167.

8. Omurov T.D. and Alybaev A.M. Regularization of a system of the first kind Volterra incorrect two-dimensional equations. Advances in Differential Equations and Control Processes. 2022. V. 27. P. 149–162. DOI: 10.17654/0974324322018.

СТАТЬИ

УДК 54-78

**РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ
НЕФТЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ****Гулиева Н.К., Мустафаев И.И., Набизаде З.О., Чичек Ф.А.***Институт радиационных проблем НАН Азербайджана, Баку,**e-mail: radiasiya@irp.science.az, interproj-irp@yandex.ru*

На объектах транспорта и добычи нефти проблема с нефтяными отложениями (НО) в полной мере до сих пор не решена и требует усовершенствования методов предотвращения и удаления нефтяных отложений. В случае аварий нефтепроводов при сжигании или захоронении НО на полигонах, производимых нефтеперерабатывающими заводами, окружающая среда: животный мир, растительность, вода, воздух – подвергаются вредному воздействию множества содержащихся в сырой нефти компонентов. Для снижения негативного воздействия отходов на окружающую среду и увеличения глубины переработки нефти необходимо решение проблем с НО – изучение их состава и свойств, разработка способов их утилизации. Подробная информация о составе и свойствах нефтяных отложений необходима для возможности управления отходами, разработки различных способов и технологий предупреждения образования НО и их удаления с поверхности нефтепроводов. Исследовано воздействие гамма-радиации на состав нефтяных отложений, образовавшихся на поверхности нефтепровода при транспортировке нефти, наличие в их составе полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и их радиационно-химические превращения, определены радиационно-химические выходы газов. Приводятся дозные зависимости изменения концентраций отдельных групп ПАУ при радиоллизе НО. Установлены значительные изменения концентраций при радиоллизе наиболее токсичных ПАУ с увеличенным содержанием бензольных колец в их составе. Результаты данных позволяют использовать их в управлении отходами перекачиваемой нефти.

Ключевые слова: нефтепровод, нефтяные отложения, радиоллиз, радиационно-химический выход, полициклические ароматические углеводороды

RADIATION-CHEMICAL TRANSFORMATIONS OF OIL DEPOSITS**Gulieva N.K., Mustafaev I.I., Nabizade Z.O., Chichek F.A.***Institute of Radiation Problems Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku,**e-mail: radiasiya@irp.science.az, interproj-irp@yandex.ru*

At oil transport and production facilities, the problem with oil deposits (OD) has not yet been fully resolved, and requires improvements in methods for preventing and removing oil deposits. In case of accidents of oil pipelines, when burning or burying OD at landfills produced by some refineries, the environment-fauna, vegetation, water, air are exposed to harmful effects of many of its components contained in crude oil. To reduce the negative impact of waste on the environment and increase the depth of oil processing, it is necessary to solve problems with OD, study their composition and properties, and develop methods for their utilization. Detailed information on the composition and properties of oil deposits is necessary for the possibility of waste management, the development of various methods and technologies for preventing the formation of OD and their removal from the surface of oil pipelines. The impact of gamma radiation on the composition of oil deposits formed on the surface of the oil pipeline during oil transportation, the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and their radiation-chemical transformations, and the radiation-chemical gas yields were determined. Dose dependencies of changes in concentrations of individual PAH groups during OD radiolysis are given. Significant changes in the concentrations during radiolysis of the most toxic PAHs with an increased content of benzene rings in their composition have been established. The results of the data allow them to be used in the management of pumped oil waste.

Keywords: oil pipeline, oil deposits, radiolysis, radiation-chemical yield, polycyclic aromatic hydrocarbons

При добыче и транспортировке нефти на внутренней поверхности нефтепровода осаждаются выделившиеся из нефти отложения, состав и свойства которых зависят от исходной нефти, а также от технических характеристик трубопровода и процесса транспортировки. Это происходит в связи с колебаниями температуры окружающей среды и другими факторами. Для предприятий нефтедобычи и нефтепереработки нефтяные отложения представляют серьезную проблему как с технической, так и с экологической точек зрения [1]. Накопление нефтяных отложений на внутренней поверхности нефтепровода при транспортировке нефти вызывает снижение пропускной спо-

собности нефтепроводов и увеличение давления в процессе эксплуатации, что может привести к прорыву нефтепровода. Нефтяные отложения, отложившиеся в нефтепроводе при перекачке нефти, состоят в основном из церезинов и парафинов, в составе которых наличие смол и асфальтенов составляет до 50% мас., неастворимых масел до 40% мас., а также присутствуют механические примеси или неорганические вещества. Основательное изучение состава, свойств и строения нефтяных отложений необходимо в целях разработки новых технологий, противодействующих образованию и содействующих удалению НО. В составе НО имеются и ценные компоненты, которые

также необходимо учесть и рассмотреть возможности применения НО в качестве добавок к строительным материалам, смазочным композициям [2]. Для очистки нефтяного оборудования от нефтяных отложений применяются различные методы, в частности из физических методов применяются ультразвуковые технологии, а в общем рассматривается использование радиационно-химической технологии очистки нефтяного оборудования от нефтяных отложений [3, 4].

Для изучения воздействия радиационного фона окружающей среды в местах разлива нефтяных отходов на состав НО и в целях рассмотрения применения радиационно-химической технологии удаления НО исследован состав и физико-химические свойства нефтяных отложений, образовавшихся в трубопроводе при транспортировке нефти. Изучены радиационно-химические превращения находящихся в составе НО полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), воздействие излучения на структурно-групповой состав образцов нефтяного отложения, установлены радиационно-химические выходы газовых продуктов радиолиза НО.

Материалы и методы исследования

В качестве источника ионизирующего излучения использован изотопный источ-

ник гамма-излучения Co^{60} – “МРХ-γ-30”. Исследования проводились в интервалах поглощенных доз гамма-излучения $D = 3,4–326,4$ кГр при мощности дозы $P = 0,19$ Гр/с. Газовые продукты анализированы на хроматографе марки “Agilent GC 7890A”, жидкие продукты анализированы на “GCFID” (GS-450, Varian-2010USA), полициклические ароматические углеводороды 16ЕРА анализированы на масс-спектрометре (GMS Trace DSQ-Thermo Electron, Finnigan США, 2005).

Результаты исследования и их обсуждение

Наиболее токсичными нефтяными углеводородами, вызывающими серьезное загрязнение окружающей среды, являются ПАУ и продукты их распада [5]. Хромато-масс-спектрометрическим методом определены концентрации специальной группы ПАУ в нефтяных отложениях, так называемой 16 ЕРА, результаты приведены в табл. 1, там же указаны индексы токсичности отдельных ПАУ [5, 6].

Эта группа ПАУ в экологии имеет приоритетное значение (16 загрязнителей полициклических ароматических углеводородов, предложенные Агентством по защите окружающей среды в США – US Environmental Protection Agency – ЕРА).

Таблица 1

Концентрации и токсичность
содержащихся в нефтяном отложении ПАУ группы 16 ЕРА

	Индекс токсичности	С, мг/кг	%
Нафталин	0,001	44,485	51,527
Аценафтилен	0,001	1,573	2,489
Аценафтен	0,001	1,074	1,499
Флуорен	0,001	7,743	10,391
Фенантрен	0,001	18,697	23,171
Антрацен	0,01	1,777	2,329
Флуорантен	0,001	0,339	0,342
Пирен	0,001	1,083	1,355
Бензо(а)антрацен	0,1	0,600	0,824
Хризен	0,01	2,204	3,806
Бензо(в)флуорантен	0,1	0,326	0,475
Бензо(к)флуорантен	0,1	0,076	0,105
Бензо(а)пирен	1,0	0,546	0,689
Индено(1,2,3-с,д)пирен	0,1	0,064	0,075
Бензо(г,х,и) перилен	0,01	0,588	0,626
Дибензо(а,х)антрацен	5	0,25	0,287
Сумма ЕРА 16		81,42	100

Как видно из таблицы, общее содержание группы 16 ЕРА полициклических ароматических углеводородов, содержащихся в НО, составляет 81,42 мг/кг, из них 90 % составляют ПАУ с меньшим количеством бензольных колец и малой токсичностью. Учитывая экологические аспекты приведенных показателей токсичности ПАУ, а именно повышенные в 1000 и 5000 раз токсичности отдельных представителей ПАУ, представляет интерес изучение изменений их концентраций под воздействием излучения на нефтяное отложение [5].

Изучены радиационно-химические превращения следующих полициклических ароматических углеводородов – 2–6-кольцевых ПАУ, группы 16 ЕРА, группы NPD (нафталин, фенантрен, дибензотиофен). На рис. 1–4 приведены дозные зависимости изменения концентраций этих групп полициклических ароматических углеводородов при радиоллизе НО. Из приведенных рисунков видно, что значительные изменения концентраций наблюдаются для ПАУ с увеличенным содержанием бензольных колец в их составе (рис. 1). В изучаемых интервалах воздействия излучения уменьшение концентрации бензоантрацена составляет 15 %, бензапирена – 25 %, дибензоантрацена – 75 %. Незначительные изменения концентраций ПАУ, наблюдаемые на рис. 2–4, связаны с происходящими процессами деструкции и поликонденсации при радиоллизе НО.

Относительно низкая радиационная стойкость опасных в экологическом отношении полициклических ароматических соединений связана как с их сравнительно низким потенциалом ионизации, так и с более активными реакциями ПАУ с радиолитическими частицами по сравнению с другими соединениями [7].

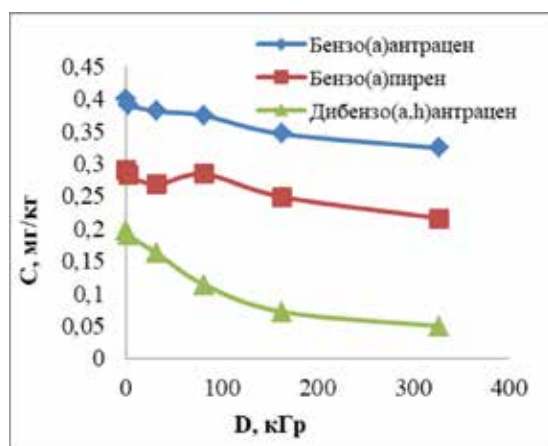


Рис. 1. Зависимость концентраций индивидуальных ПАУ от дозы облучения

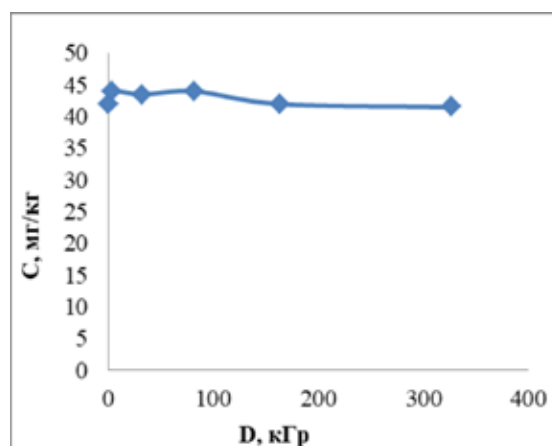


Рис. 2. Зависимость концентраций группы 16 ЕРА от дозы облучения

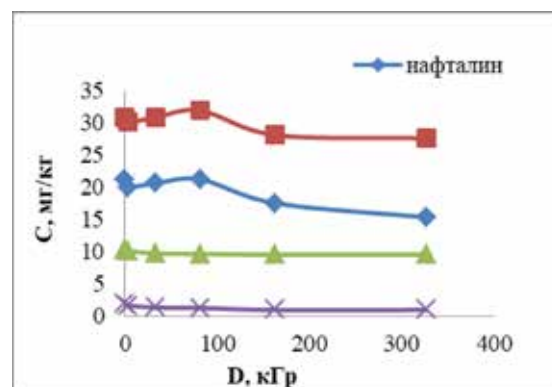


Рис. 3. Зависимость концентраций группы NPD от дозы облучения

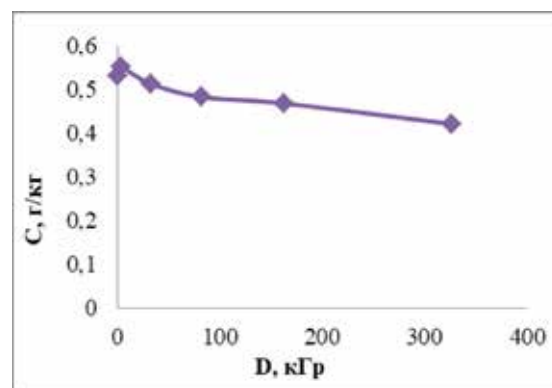
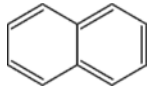
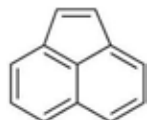
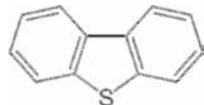
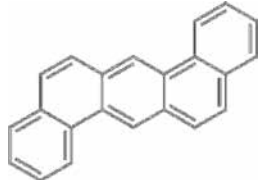
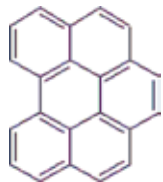


Рис. 4. Зависимость концентраций 2–6-кольцевых ПАУ от дозы облучения

В табл. 2 приводятся значения потенциалов ионизации бензола и некоторых полиароматических соединений, содержащихся в НО, с различным количеством бензольных колец в их составе.

Таблица 2

Концентрации и потенциалы ионизации
содержащихся в НО полиароматических соединений

№	ПАУ	мг/кг	Потенциал ионизации, эВ	Формула
1	Бензол	78,6	9,24	
2	Нафталин	70,7	8,12	
3	Аценафтилен	30,5	8,02	
4	Дибензотиофен	2,4	7,90	
5	Дибензоантрацен	0,4	7,89	
6	Бензо (g,h,i)перилен	1,0	7,24	

В связи со специфичностью структурных особенностей молекул полициклических ароматических углеводородов меняются их потенциалы ионизации. По мере возрастания числа бензольных ядер в молекуле конденсированных аренов происходит повышение энергии высшей заполненной молекулярной орбитали, и в результате наблюдается уменьшение потенциала ионизации, поэтому они являются более сильными донорами электронов, чем молекула бензола.

Учитывая экологические аспекты приведенных показателей токсичности ПАУ, а именно повышенную в 1000 и 5000 раз токсичность отдельных представителей ПАУ, представляет интерес изучение изменений их концентраций под воздействием излучения на нефтяное отложение. Экологические воздействия ПАУ намного превышают влияние других групп углеводородов в связи с возможностью их накопления в нефтезагрязненных почвах и донных отложениях водоемов, а также токсичностью

воздействия их на живые организмы [6]. Токсичность отдельных ПАУ в тысячи раз может отличаться друг от друга, к примеру ПАУ с большим содержанием в составе бензольных колец имеют гораздо большую токсичность. Например, соотношение токсичностей в ПАУ антрацен : бензоантрацен: дибензоантрацен составляет 1:10:50, что показывает на высокое экологическое воздействие бензогрупп.

Для рассмотрения вопросов использования радиации в процессах очистки нефтепроводов от отложений и для определения радиационной стойкости НО были изучены некоторые закономерности радиационно-химических превращений образцов нефтяных отложений. Одним из показателей радиационной стойкости органических материалов принято считать величину радиационно-химического выхода продуктов, образующихся при их радиоллизе [8]. Кинетика накопления газов при радиационно-химических превращениях НО приведена на рис. 5 и 6.

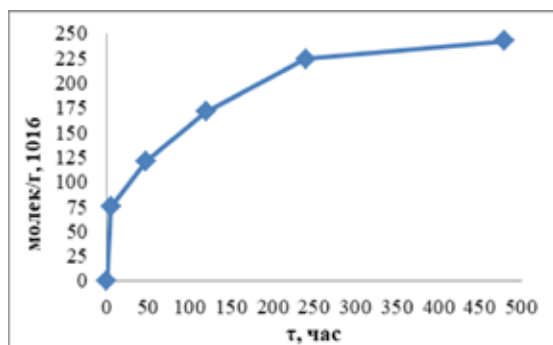


Рис. 5. Кинетика образования водорода при радиоллизе НО

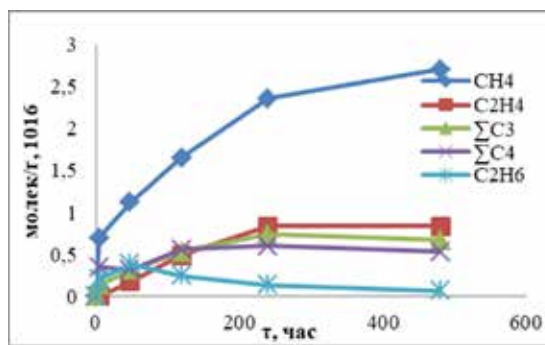


Рис. 6. Кинетика образования газов C_1 - C_6 при радиоллизе НО

Таблица 3

Температурная зависимость радиационно-химических выходов газов при радиоллизе НО (мол/100 эВ)

TC	G(H ₂)	G(CH ₄)	G(C ₂ H ₄)	G(C ₂ H ₆)	G(C ₃)	G(C ₄)	G(C ₅)	G(C ₆)
20	0,8	0,032	0,009	0,003	0,003	0,016	0,001	0,001
100	1,10	0,040	0,012	0,005	0,008	0,022	0,001	0,003
200	2,790	0,07	0,018	0,007	0,010	0,031	0,002	0,007
300	30,297	0,364	0,032	0,222	0,028	0,074	0,007	0,014
400	783,051	29,838	9,075	4,506	6,317	7,348	0,011	2,193

Таблица 4

Значения энергии активации в различных температурных интервалах (ккал/моль)

T ⁰	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	ΣC ₄	ΣC ₅	ΣC ₆	ΣC ₇
E(20–200 °C)	2,15	2,68	3,45	3,15	3,06	1,75	5,65	7,88	7,13
E(200–400 °C)	41,63	44,88	100,87	33,25	96,93	41,55	88,53	89,78	70,47

По линейным участкам кинетических кривых определены радиационно-химические выходы газов, в табл. 3 приводится температурная зависимость радиационно-химических выходов газов при радиоллизе НО. Из графика зависимости скорости в Аррениусовых координатах вычислены значения энергии активации радиационно-термических процессов образования газов при радиоллизе НО (табл. 4).

Значения энергии активации при повышенных температурах значительно превышают соответствующие значения при низких температурах. Это связано с тем, что значения энергии активации реакций отрыва значительно превышают энергию активации диффузионных процессов, лимитирующих радиационно-хи-

мические процессы до температуры 200 °C. Органическая часть отложений транспортировки нефти имеет высокую радиационную стабильность до температуры 200 °C. При повышенных температурах происходит повышение радиационно-термических процессов деструкции с образованием водорода и углеводородов C_1 - C_7 .

Заключение

Образование нефтяных отложений в нефтепроводе при транспортировке нефти создает потенциальную угрозу загрязнения окружающей среды. Необходимо исследование состава нефтяных отложений, определение их радиационной стойкости. Накопившиеся в нефтепроводе отложения имеют в своем составе токсичные полициклические углеводороды, вызывающие

серьезное загрязнение. Если известен состав отходов или то, что в них представляет опасность, использование их становится рациональным. Изучение радиационного воздействия на расщепление канцерогенных полициклических углеводородов в составе НО представляет интерес для возможностей очистки от них отходов транспортировки нефти. Процессы расщепления или поликонденсации бензосоединений приводят к уменьшению токсичности НО и облегчают возможности экологического управления нефтяными отложениями. Результаты исследований позволяют оценить экологические аспекты возможности применения радиационно-химической технологии в очистке нефтепроводов от отложений.

Список литературы

1. Иванова Л.В., Буров Е.А., Кошелев В.Н. Асфальтосмолапарафиновые отложения в процессах добычи, транспорта и хранения // Нефтегазовое дело. 2011. № 1. С. 268–284.
2. Гильмутдинов Н.Р., Дмитриев М.Е., Мастобаев Б.Н. Новые направления использования асфальтосмолапарафиновых отложений в процессе трубопроводного транспорта нефти // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2015. № 2. С. 9–12.
3. Павлов М.В., Мастобаев Б.Н., Хофштаттер Х. Применение ультразвука для удаления асфальтосмолистых парафиновых отложений в резервуарах для хранения нефти // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2017. № 6. С. 58–62.
4. Gulieva N.K., Mustafaev I.I., Nabizade Z.O., Sabzaliev S.A. Study of radiation-chemical transformations and composition of deposit in oil pipeline. Journal of Radiation Research. 2016. Vol. 3. № 2. P. 48–53.
5. Гулиева Н.К., Мустафаев И.И., Сабзалиев А.А., Гарибов Р.Г. Состав и свойства отложений, образовавшихся на внутренней поверхности нефтепровода // Журнал прикладной спектроскопии. 2018. Т. 85. № 1. С. 140–145.
6. Цымбалюк К.К., Деньга Ю.М., Антонович В.П. Определение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в объектах окружающей среды // Методы и объекты химического анализа. 2013. Т. 8. № 2. С. 52–62.
7. Доломатов М.Ю., Ярмухаметова Г.У., Шуляковская Д.О. Оценка первых потенциалов ионизации и сродства к электрону молекул полициклических органических полупроводников по цветовым характеристикам в колориметрических системах XYZ и RGB // Прикладная физика. 2011. № 1. С. 20–31.
8. Штейнберг Е.М., Зенитова Л.А. Снижение экологической опасности радиационного облучения с использованием полимерных композиционных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 8. С. 67–71.

ГИДРОЛИЗ ЖЕЛЕЗА И ОБРАЗОВАНИЕ СМЕШАННОЛИГАНДНЫХ ГУМАТ-ГИДРОКСОКОМПЛЕКСОВ В ВОДЕ

²Жаркынбаева Р.А., ¹Худайбергенова Э.М., ¹Жоробекова Ш.Ж.

¹*Институт химии и фитотехнологий НАН КР, Бишкек, e-mail: h_elnura@mail.ru;*

²*Ошский государственный университет, Ош*

В условиях гидролиза ионов металлов возможны реакции образования гидроксокомплексов, характеризующихся соответствующими константами устойчивости. Ионы железа (Fe^{3+}) сильно подвержены гидролизу и формированию оксо-, гидроксо соединений. Формирование любых форм гидроксоавакомплексов металлов определяется полнотой протекания реакции гидролиза, которая определяется температурой и pH в реакционной среде. В диапазоне pH 2,5–4,0 может происходить процесс полимеризации гидроксокомплексов. Однако существенную роль при этом играет концентрация катионов в растворе. В частности, было показано, что в разбавленных растворах с концентрацией ионов металлов $\sim 1 \cdot 10^{-5}$ М полиядерные гидроксокомплексы не образуются. Вероятность образования полиядерных форм уменьшается в присутствии комплексообразующих анионов, при этом формируются смешаннолигандные моноядерные гидроксокомплексы различного состава. Как правило, такие комплексы обладают высокой биологической активностью и используются в качестве основы для получения лечебных препаратов и микроудобрений. В этой связи особый интерес вызывают смешаннолигандные гидроксокомплексы, формирующиеся с участием гуминовых веществ (ГВ), обладающих уникальными свойствами, включая биосовместимость, стабильность и многофункциональность. Особое преимущество применения продуктов на основе гуминов связано с тем, что ГВ снижают токсичность загрязняющих веществ и повышают устойчивость растений к химическому стрессу, стимулируют развитие корней и увеличивают биомассу растений. В связи с вышеизложенным в настоящей статье рассмотрены процессы образования, устойчивость и распределение гидроксоформ и смешаннолигандных гумат-гидроксокомплексов железа (III) в воде.

Ключевые слова: гидролиз, гидроксокомплекс, моноядерный, гуминовые вещества, смешаннолигандные комплексы, константа устойчивости

HYDROLYSIS OF IRON AND THE FORMATION OF MIXED LIGAND HUMAT- HYDROXO COMPLEXES IN WATER

²Jarkynbaeva R.A., ¹Khudaibergenova E.M., ¹Jorobekova Sh.J.

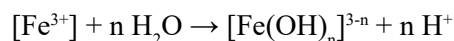
¹*Institute of Chemistry and Phytotechnologies of NAS KR, Bishkek, e-mail: h_elnura@mail.ru;*

²*Osh State University, Osh*

The formation of hydroxo complexes, which are characterized by the corresponding stability constants, are possible under the conditions of hydrolysis of metal ions. Iron ions Fe^{3+} are highly susceptible to hydrolysis and formation of oxo-, hydroxo compounds. The formation of any forms of metal hydroxo complexes is determined by the completeness of the hydrolysis reaction which is determined by the temperature and pH in the reaction medium. In the pH range of 2.5 – 4.0 the process of polymerization of hydroxocomplexes can occur. However, the concentration of cations in the solution plays a significant role. In particular, it was shown that in dilute solutions with a metal ion concentration of $\sim 10^{-5}$ M polynuclear hydroxo complexes are not formed. The probability of the formation of polynuclear forms also decreases in the presence of complexing anions, in this case mixed-ligand mononuclear hydroxo complexes of various compositions are formed. As a rule such complexes have high biological activity and are used as a basis for the production of medicinal preparations and microfertilizers. In this regard, mixed-ligand hydroxo complexes formed with the participation of humic substances (HS) are of particular interest. HS have unique properties, including biocompatibility, stability, and multifunctionality. Humic acids reduce the toxicity of pollutants and increase plant resistance to chemical stress, stimulate root development and increase plant biomass, therefore using humic-based products is a particular advantage. In connection with the foregoing, this article considers the processes of formation, stability, and distribution of hydroxoforms and mixed-ligand hydroxo-humate complexes of iron (III) in water.

Keywords: hydrolysis, hydroxocomplex, mononuclear, humic substances, mixed-ligand complexes, stability constant

Взаимодействие ионов металлов с водой является одним из важнейших химических взаимодействий, встречающихся в природе. В условиях гидролиза возможны реакции образования гидроксокомплексов, характеризующихся соответствующими константами устойчивости. Ионы железа (Fe^{3+}) сильно подвержены гидролизу и формированию оксо-, гидроксо соединений. Формирование любых форм гидроксокомплексов железа (III) определяется полнотой протекания реакции гидролиза (величиной n):



Величина n изменяется с увеличением значений температуры и pH. При pH 1,5 начинается гидролиз катионов Fe^{3+} со стадийным образованием моноядерных гидроксокомплексов $[\text{Fe}(\text{OH})]^{2+}$ и $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$, где на их долю приходится до 50% находящегося в системе ионизированного железа. При низких значениях указанных параметров необходимо ожидать присутствия в растворе наряду с положительно заряжен-

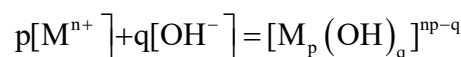
ными гидроксоаквакомплексами железа(III) составов $[\text{Fe}(\text{OH})]^{2+}$ или $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^{+}$ и электронейтральных частиц $[\text{Fe}(\text{OH})_3]^0$. В диапазоне pH 2,5-4,0 может происходить процесс полимеризации гидроксокомплексов с образованием димера $[\text{Fe}_2(\text{OH})_2]^{4+}$ и в меньшей степени $[\text{Fe}_2(\text{OH})_3]^{+}$. При pH 4,5-5,5 в водной среде доминируют гидратированные катионы Fe^{3+} [1; 2]. Такое распределение гидролизующихся форм железа(III) отмечено и в других исследованиях [3; 4]. Однако существенную роль при этом играет концентрация катионов в растворе. В частности, в работе [4] на примере Fe(III) показано, что в растворе с концентрацией ионов $\text{Fe}^{3+} \sim 10^{-5}$ М полиядерные гидроксокомплексы не образуются. Вероятность образования полиядерных форм уменьшается также в присутствии комплексообразующих анионов, при этом формируются смешаннолигандные моноядерные гидроксокомплексы различного состава. Склонность металлов переменной валентности, в том числе и железа, к образованию смешаннолигандных гидроксокомплексов различного состава отмечена во многих исследованиях [5-7]. Подверженное гидролизу железо (III) образует большое количество смешанных гидроксокомплексов. Как правило, такие комплексы обладают высокой биологической активностью и используются в качестве основы для получения лечебных препаратов и микроудобрений [8]. В этой связи особый интерес вызывают смешаннолигандные гидроксокомплексы, формирующиеся с участием гуминовых веществ (ГВ). Особый интерес к гуминовым веществам обусловлен их уникальными биологическими свойствами, включая биосовместимость, стабильность и многофункциональность. Основными структурными единицами молекул ГВ являются ароматическое ядро и периферические функциональные группы, которые обеспечивают их высокую реакционную способность в реакциях комплексообразования и образования хелатных структур [9-11]. В частности, в работе [12] установлено формирование стабильных пятичленных хелатных комплексов Fe(III) с гуминовыми кислотами в области pH 3,0-7,2. Было показано, что Fe(III) при концентрациях $\sim 10^{-3}$ М встречается преимущественно в виде моноядерных комплексов с природ-

ными органическими веществами (ПОВ), а также с фульвокислотами. Органические комплексы Fe(III) обладают более высокой реакционной способностью по сравнению с железом в гидроксидных фазах. Несмотря на актуальность, все перечисленные выше вопросы изучены недостаточно.

Цель исследования – изучение гидролиза железа (III) в водном растворе в присутствии ГВ. Определение вида, состава, устойчивости и распределения в системе образующихся гидроксокомплексов, в том числе и смешаннолигандных гумат-гидроксокомплексов.

Материалы и методы исследования

В работе использован хлорид железа(III) марки ч.д.а. Гуминовые кислоты выделены из бурого окисленного угля. Состав и свойства описаны в работе [9]. Гидролиз ионов железа(III), а также образование смешаннолигандных гумат-гидроксокомплексов изучали в водных растворах в интервале концентраций ионов металла 10^{-5} – 10^{-4} М. В работе использован катионит КУ-2.8 в Na^{+} -форме. Ионит подвергался предварительной обработке для удаления примесей. К 0,25 г смолы добавляли 25 мл 0,1 М раствора NaClO_4 ($I=0,1$ М) с определенным pH, которое варьировало от 1,5 до 10. В систему вносили раствор с заданной концентрацией иона металла и реакцию проводили до наступления равновесия. Отбирали аликвоту и определяли концентрацию ионов Fe^{3+} методом атомно-абсорбционной спектроскопии [13]. Образование как однородных, так и смешаннолигандных комплексов ионов металлов в растворе исследовано с методом ионообменного равновесия [14]. В условиях гидролиза при образовании гидроксокомплексов



$$(p = 1, 2 \dots P; q = 1, 2 \dots Q),$$

характеризуемых константой устойчивости

$$\beta_{pq} = \frac{[\text{M}_p(\text{OH})_q]^{np-q}}{[\text{M}^{n+}]^p [\text{OH}^{-}]^q},$$

катионный обмен описывается общим уравнением:

$$K_d = \frac{[\text{MR}]}{C_M} = K_d^0 \cdot \frac{\sum_{p=1}^P \sum_{q=0}^Q p! \beta_{pq} [\text{M}^{n+}]^{p-1} [\text{OH}^{-}]^q}{\sum_{p=1}^P \sum_{q=0}^Q p \beta_{pq} [\text{M}^{n+}]^{p-1} [\text{OH}^{-}]^q},$$

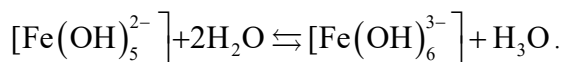
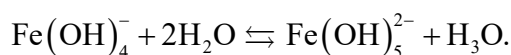
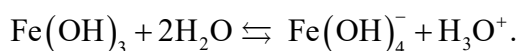
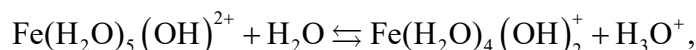
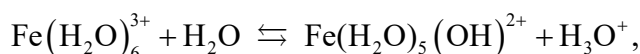
где K_d – коэффициент распределения металла между раствором и ионитом, здесь l_{pq}^0 – функция, характеризующая сорбируемость комплексного иона, K_d^0 – коэффициент рас-

пределения его при мольной доле $\alpha_{\text{pq}} = 1$. Решение этого уравнения путем введения функции ϕ , которая зависит от $1/K_d$ и $[\text{OH}]$, позволяет определить состав и устойчивость комплексов, образующихся при каждой фиксированной концентрации металла в растворе.

Анализ ионных равновесий в системе был проведен классическим методом [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Состав и константы устойчивости гидроксокомплексов. В водных растворах солей ионы железа могут присутствовать в различной форме в зависимости от концентрации и pH. В общем случае, реакции гидролиза ионов железа (III) можно описать следующими уравнениями:



Помимо указанных в этих уравнениях гидроксокомплексов, могут присутствовать и другие. При увеличении pH протекают процессы оляции и оксоляции, в результате которых образуются полимеры состава $\text{OH}/\text{Fe} \approx 1.1$ и $\text{OH}/\text{Fe} \approx 5.2$. Одновременно происходит и образование двойных цепей октаэдров $\text{FeO}(\text{OH})_6$. Конденсация двойных цепей приводит сначала к образованию сферических частиц диаметром 2-4 нм, содержащих порядка 100 атомов Fe, а затем и анизотропных частиц $\alpha\text{-FeOOH}$ или $\beta\text{-FeOOH}$ в зависимости от условий эксперимента и прекурсоров [3].

Состав и константы устойчивости гидроксокомплексов железа (III), рассчитанные по методу Фронеуса на основе данных ионообменного равновесия в системе гидролиза, представлены в таблице.

Данные о распределении в системе ионов железа (III) и их гидроксокомплексов, рассчитанные на основе констант устойчивости (таблица), представлены на рисунке 1.

Как показано на рисунке 1, в интервале pH от 1,5 до 5,5 в составе раствора домини-

руют частицы Fe^{3+} . Но начиная от pH 3,0 наблюдается гидролиз этих ионов с образованием гидроксоформ $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ и $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. Содержание этих частиц достигает максимального значения при pH 4,0. При этом для $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ $\alpha=0,34$, а для $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ $\alpha=0,21$.

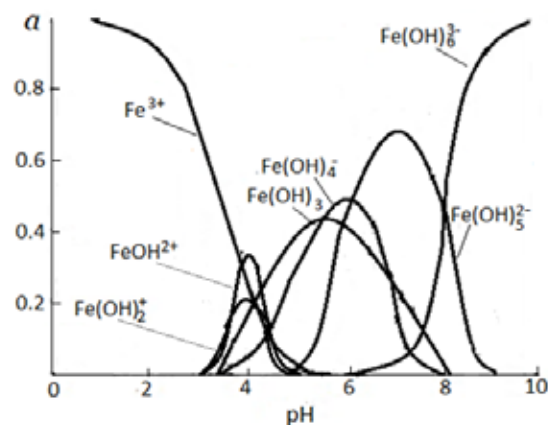


Рис. 1. Распределение в системе ионов железа (III) и их гидроксокомплексов

Состав и константы устойчивости образующихся гидроксокомплексов

Комплекс	$\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$	$\text{Fe}(\text{OH})_2^+$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Fe}(\text{OH})_4^-$	$\text{Fe}(\text{OH})_5^{2-}$	$\text{Fe}(\text{OH})_6^{3-}$
$\lg \beta_{\text{pq}}$	5,84	8,61	10,17	10,68	12,00	14,31

Образование $\text{Fe}(\text{OH})_3$ начинается при pH 3,4. Содержание этих частиц увеличивается с повышением pH и достигает 44% при pH 5,8. Далее происходит снижение этой величины, и при pH 8,0 в растворе частиц $\text{Fe}(\text{OH})_3$ уже не существует. Максимальное содержание $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ ($\alpha=0,50$) наблюдается при pH 6,0. Образование этих частиц прекращается при pH 8,4. При pH 5,0 начинается образование $\text{Fe}(\text{OH})_5^-$. При pH 7,5 для этих частиц $\alpha=0,6$. В интервале pH 6,0–10,0 в растворе присутствуют $\text{Fe}(\text{OH})_6^{3-}$. При этом содержание их возрастает 0,1 до 90%.

Ионные равновесия и распределение частиц в процессе гидролиза ионов железа(III) в присутствии гуминовых кислот. Для оценки кривой распределения частиц, образующихся при гидролизе ионов металлов в водном растворе в присутствии гуминовых кислот, было составлено несколько моделей равновесий, из которых на основании расчетов по программе

CPRESSP [15] была выбрана модель, имеющая наименьшее значение критерия Фишера. Согласно этой модели в рассматриваемых системах наряду со свободными ионами металлов и их гидроксоформами присутствуют гуматные и смешанные гумат-гидроксокомплексы. При этом модель включала гидроксокомплексы только следующих составов: $\text{Fe}(\text{OH})_2^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Смешаннолигандные гумат-гидроксокомплексы представлены формами $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{L}$, $\text{Fe}(\text{OH})\text{L}_2$ и полностью замещенным гуматом железа, таким как FeL_3 . В соответствии с моделью были составлены уравнения материального баланса, рассчитаны молярные доли всех частиц в растворе и построены кривые их распределения (рис. 2). Уравнение материального баланса в присутствии гумат-лигандов, то есть в системе « $\text{Fe}^{3+} - \text{OH}^- - \text{L}^- - \text{H}_2\text{O}$ », с допущением того, что имеет место образование трех форм гумат-содержащих комплексов, имеет вид:

$$C_{\text{Fe,L}} = \text{Fe}^{3+} + \text{Fe}(\text{OH})_2^{2+} + \text{Fe}(\text{OH})_2^+ + \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{Fe}(\text{OH})_2\text{L} + \text{Fe}(\text{OH})\text{L}_2 + \text{FeL}_3$$

С учетом констант образования комплексов долевая концентрация Fe^{3+} в системе, включающей гумат-анионы, выразится как:

$$\alpha_{\text{Fe}^{3+}} = \left(\text{Fe}^{3+} / C_{\text{Fe,L}} \right) = \{ 1 + \beta_{11} [\text{OH}^-] + \beta_{12} [\text{OH}^-]^2 + \beta_{13} [\text{OH}^-]^3 + \beta_{121} [\text{OH}^-]^2 [\text{L}] + \beta_{112} [\text{OH}^-] \cdot [\text{L}]^2 + \beta_{13} [\text{L}]^3 \}^{-1}$$

Концентрация гуматных донорных центров, образующихся при ионизации протонных функциональных групп (HL), может быть определена через константу ионизации последних:

$$K_{\text{ион.}} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{L}^-]}{[\text{HL}]}$$

Отсюда $[\text{L}^-] = K_{\text{ион.}} [\text{HL}] \cdot [\text{H}^+]^{-1}$ или $[\text{L}^-] = K_{\text{ион.}} [\text{HL}] \cdot [\text{OH}^-] / K_{\text{w}}$, где K_{w} – ионное произведение воды.

Тогда долевая концентрация смешанных гумат-гидроксокомплексов железа (III) определится следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \alpha_{121} &= \beta_{121} \cdot \alpha_{\text{Fe}^{3+}} \cdot K_{\text{ион.}} [\text{HL}] \cdot [\text{OH}^-]^2 / K_{\text{w}} && \text{для } \{ \text{Fe}(\text{OH})_2\text{L} \} \\ \alpha_{112} &= \beta_{112} \cdot \alpha_{\text{Fe}^{3+}} \cdot K_{\text{ион.}}^2 [\text{HL}]^2 [\text{OH}^-]^3 / K_{\text{w}}^2 && \text{для } \{ \text{Fe}(\text{OH})\text{L}_2 \} \\ \alpha_{13} &= \beta_{13} \cdot \alpha_{\text{Fe}^{3+}} \cdot K_{\text{ион.}}^3 [\text{HL}]^3 [\text{OH}^-]^3 / K_{\text{w}}^3 && \text{для } \{ \text{FeL}_3 \} \\ \alpha_{121} &= \beta_{121} \cdot \alpha_{\text{Fe}^{3+}} \cdot K_{\text{ион.}} [\text{HL}] \cdot [\text{OH}] / [\text{H}^+] && \text{для } \{ \text{Fe}(\text{OH})_2\text{L} \} \\ \alpha_{112} &= \beta_{112} \cdot \alpha_{\text{Fe}^{3+}} \cdot K_{\text{ион.}}^2 [\text{HL}]^2 \text{OH} / [\text{H}^+]^2 && \text{для } \{ \text{Fe}(\text{OH})\text{L}_2 \} \\ \alpha_{13} &= \beta_{13} \cdot \alpha_{\text{Fe}^{3+}} \cdot K_{\text{ион.}}^3 [\text{HL}]^3 / [\text{H}^+]^3 && \text{для } \{ \text{FeL}_3 \} \end{aligned}$$

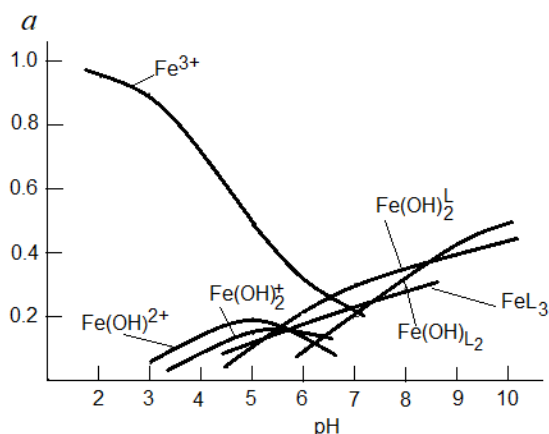


Рис. 2. Кривые распределения гидроксиокомплексов и смешанных гумат-гидроксиокомплексов железа

Величины констант образования смешанных гумат-гидроксиокомплексов рассчитаны на основе данных о константах устойчивости гидроксиокомплексов и ступенчатых констант образования гуматных комплексов [9]. $\lg\beta_{\text{Fe(OH)}_2\text{L}} = 14,23$; $\lg\beta_{\text{Fe(OH)L}_2} = 13,57$; $\lg\beta_{\text{FeL}_3} = 16,86$.

В присутствии гуминовых кислот кривая распределения смещается в щелочную область. Содержание свободных ионов Fe^{3+} доминирует до pH 6,5. Fe(OH)^{2+} присутствуют в системе в области pH от 3,2 до 6,5. Максимальное содержание их ($\alpha=0,2$) наблюдается при pH 5,0. Образование Fe(OH)_2^+ начинается при pH 3,4. Мольная доля этих частиц в присутствии ГК понижается, достигнув максимального значения $\alpha=0,18$ при pH 6,0. Начиная от pH 6,0 и до pH 10,0 в растворе присутствуют смешанные гумат-гидроксиокомплексы $\text{Fe(OH)}_2\text{L}$ и Fe(OH)L_2 . Для $\text{Fe(OH)}_2\text{L}$ $\alpha=0,43$ и для Fe(OH)L_2 $\alpha=0,50$ при pH 10. В области pH 4,5 начинается образование тернарных гуматных комплексов FeL_3 , которое прекращается при pH 8,5 при достижении $\alpha=0,3$.

Заключение

Степень гидролиза ионов железа (III) в водном растворе при введении гуминовых кислот понижается, и область образования гидроксиокомплексов смещается в область более высоких pH. Наряду с этим уменьшается концентрация свободных ионов

металла за счет образования смешаннолигандных гумат- гидроксиокомплексов различного состава.

Список литературы

1. Файзуллоев Э.Ф. Процессы образования гидроксиокомплексов железа(III): автореф. дис. ... канд. хим. наук. Душанбе, 2015. 149 с.
2. Файзуллоев Э.Ф., Рахимова М.М., Исмоилова М.А., Камиллов Х.Ч. Гидроксильное комплексообразование Fe(III) в растворах различного состава // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2014. № 1/4(153). С. 76-81.
3. Михайлов В.И. Получение и физико-химические свойства материалов на основе нанодисперсных оксидов алюминия и железа (III): дис. ...канд. хим. наук. Сыктывкар, 2016. 120 с.
4. Файзуллоев Э.Ф., Рахимова М.М., Давлатшоева Дж.А., Исмоилова М.А. Моделирование процессов гидроксильного процессов комплексообразования железа // Наука и инновации ТНУ. Серия естественных и экономических наук. 2014. № 1. С. 112-115.
5. Rakhimova M.M., Nurmatov T.M., Yusupov N.Z., Ismailova M.A., Faizullaev E. Iron Complexes with Monocarboxylate Anions: Models of Their Formation. Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2013. Vol. 58. No. 6. P. 719-723.
6. Юсупов З.Н., Рахимова М.М. Комплексообразование в окислительно-восстановительных системах. Душанбе: ТНУ Сино, 2013. 270 с.
7. Yusupov N.Z., Faizullaev E.F., Ismatov A.K., Bekbudova Sh., Rakhimova M.M., Rakhimova N.O. Complication of Iron (II) (III) in aqueous solutions of monobasic organic acid, models of the processes // Теоретическая и экспериментальная химия жидкофазных систем (Крестовские чтения): материалы VIII Всероссийской школы-конференции молодых ученых. Иваново: ОАО Издательство «Иваново», 2013. С. 45.
8. Рахимова, М.М. Комплексообразование ионов Fe, Co, Mn и Cu с одно- и многоосновными органическими кислотами, нейтральными лигандами в водных растворах: дис. ...док. хим. наук. Душанбе, 2013. 328 с.
9. Жоробекова Ш.Ж. Нековалентные комплексы гуминовых веществ. Бишкек: Илим, 2021. 268 с.
10. Bercovic A.M., Einschlag F.S.G., Gonzalez M.C., et al. Evaluation of the Hg^{2+} binding potential of fulvic acids from fluorescence excitation-emission matrices. Photochem. Photobiol. Sci. 2013. Vol. 12. 384 p.
11. Orsetti S., Macro-Brown J.I., Andrade E.M. et al. Pb(II) binding to humic substances an equilibrium and spectroscopic study. Environ. Sci. Technol. 2013. Vol. 7. P. 657-670.
12. Karlsson T., Persson P., Skyllberg U., Morth C-M., Giesler R. Characterization of iron (III) in organic soils using extended X-ray absorption fine structure spectroscopy. Environ. Sci. Technol. 2008. Vol. 42. P. 5449-5454.
13. Бабуев М.А. Атомно- абсорбционное определение железа, кобальта и никеля в природных водах // Известия ВУЗов Северо-Кавказск.Регион. Естественные науки. 2011. № 1-3. С. 3001-3005.
14. Шлеффер Г.Л. Комплексообразование в растворах. Методы определения состава и констант устойчивости комплексных соединений в растворах. М.; Л.: Химия, 1964. 380 с.
15. Gans P., Sabatini A., Vassa A. Investigation of equilibria in solution. Determination of equilibria constants with Hyperquad Suite of programs. Talanta. 1996. Vol. 43. № 10. P. 1739-1753.

УДК 54:577.35

АНТИРАДИКАЛЬНОЕ И МЕМБРАНОТРОПНОЕ ДЕЙСТВИЯ КВЕРЦЕТИНА И ЕГО КОМПЛЕКСА С АЛЮМИНИЕМ

¹Махмутов Б.Б., ¹Абдрасилов Б.С., ²Ким Ю.А.

¹Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, e-mail: bolat200@mail.ru;

²Институт биофизики клетки РАН ФГБУН «ФИЦ Пушчинский научный центр
биологических исследований РАН», Пушкино, e-mail: yuk01@rambler.ru

В работе представлены результаты экспериментальных исследований антиоксидантного действия хемилюминесцентным методом комплекса флавоноида (кверцетин) с Al (III) и взаимодействие комплекса с искусственными липидными мембранами (липосомами). Предварительно методом УФ-видимой спектроскопии было получено, что при смешивании флавоноида с ионами трехвалентного алюминия происходит образование комплексов с соотношением Al (III) : кверцетин как 1:1. Интенсивность свечения системы при добавлении флавоноидного металлокомплекса была ниже, чем при добавлении свободного кверцетина. Из проведенных ранее экспериментов следовало, что свободный алюминий не оказывает влияния на кинетику хемилюминесценции. Фазовые переходы в липидных мембранах изучены достаточно детально. Мы исследовали влияние кверцетина и комплекса с ионами алюминия на плавление липидной мембраны, сформированной из липида димиристоилфосфатидилхолин (ДМФХ). Кверцетин в концентрациях от 10^{-6} до 10^{-5} М незначительно подавляет главный фазовый переход в мембранах, но при концентрациях $5 \cdot 10^{-5}$ и 10^{-4} он вызывает снижение температуры главного фазового перехода. Комплекс с Al^{3+} (при молярном соотношении от 1:0,5 до 1:10) вызывает снижение T_m , однако меньше влияет на кооперативность. В фосфолипидном бислое процессы комплексообразования флавоноидов с катионами железа могут отличаться от таковых в водном растворе.

Ключевые слова: кверцетин, комплекс [кверцетин + Al (III)], стехиометрия, антирадикальная активность, липосомы, микрокалориметрия

ANTIRADICAL AND MEMBRANOTROPIC ACTIONS OF QUERCETIN AND ITS COMPLEX WITH ALUMINUM

¹Makhmutov B.B., ¹Abdrasilov B.S., ²Kim Yu.A.

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, e-mail: bolat200@mail.ru;

²Institute of Cell Biophysics of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, e-mail: yuk01@rambler.ru

The paper presents the results of experimental studies of the antioxidant action of the complex of flavonoid (quercetin) with Al (III) by the chemiluminescent method and the interaction of the complex with artificial lipid membranes (liposomes). Preliminarily, by the method of UV-visible spectroscopy, it was obtained that when a flavonoid is mixed with trivalent aluminum ions, complexes are formed with a ratio of Al (III): quercetin as 1: 1. The luminescence intensity of the system with the addition of a flavonoid metal complex was lower than with the addition of free quercetin. It followed from previous experiments that free aluminum does not affect the chemiluminescence kinetics. Phase transitions in lipid membranes have been studied in sufficient detail. We investigated the effect of quercetin and a complex with aluminum ions on the melting of a lipid membrane formed from the lipid dimyristoylphosphatidylcholine (DMPC). Quercetin at concentrations from 10^{-6} to 10^{-5} M slightly suppresses the main phase transition in membranes, but at concentrations of $5 \cdot 10^{-5}$ and 10^{-4} it causes a decrease in the temperature of the main phase transition. The complex with Al^{3+} (at a molar ratio of 1:0.5 to 1:10) causes a decrease in T_m , but has less effect on cooperativity. In the phospholipid bilayer, the processes of complex formation of flavonoids with iron cations may differ from those in an aqueous solution.

Keywords: quercetin, complex [quercetin + Al (III)], stoichiometry, antiradical activity, liposomes, microcalorimetry

Кверцетин (Qr) – это флавоноид с разнообразными биологическими свойствами, относится к группе витамина Р, используется в медицине для профилактики и лечения нарушений проницаемости сосудов, гипертонической и лучевой болезни, ревматизме, аллергических реакций [1] и обладает высокой антиоксидантной активностью [2]. Вместе с тем его терапевтический потенциал ограничен из-за низкой растворимости в воде (0,02– 0,03 %) при 20 °С и низкой биодоступности (5,3 %) [3]. Однако наличие хелатирующих сайтов в структуре молекулы, позволяющих молекулам кверцетина образовывать комплексы с рядом катионов

[4], решает задачу биодоступности, и, более того, при этом еще усиливаются антиоксидантная, антибактериальная, противоопухолевая способность влиять на многие виды ферментативной [5].

Три доступных сайта для хелатирования металлов, включая орто-дигидроксил (катехол) группа кольца В (сайт А), 5-гидроксикетогруппа (сайт В) и 3-гидроксикетогруппа (сайт С), обладают способностью образовывать комплексы с металлами [6], в том числе и с ионами алюминия. Хотя соединения алюминия не так токсичны, как тяжелые металлы, чрезмерное поступление алюминия в организм человека может вы-

звать серьезные проблемы со здоровьем, такие как повреждение нервной системы, потеря памяти, болезнь Альцгеймера, анемия, остеопороз, неврологический синдром [7]. В одном из последних обзоров [8] большое внимание уделяется способности природных молекул антиоксидантов, в частности кверцетина, образовывать комплексы Al (III) и Fe (III) с целью оценки координационных свойств, так как структурная характеристика комплексов (схема 1) имеет первостепенное значение для понимания их потенциальной применимости.

Цель исследования – формирование комплекса [кверцетин + Al (III)] и исследование его антиоксидантной и мембранотропной активности.

Материалы и методы исследования

Кверцетин (Qr), димристоилфосфатидилхолин (ДМФХ) (Avanti Polar Lipids, США), гемоглобин (Hb) («Sigma», США), («Merck», Германия), остальные реактивы отечественного производства.

Приготовление липосом

Навеску липида ДМФХ растворяли в хлороформе в концентрации 10 мг/мл, высушивали в струе аргона и вакуумировали сутки для полного удаления растворителя. Далее липид гидратировали в 20 мМ фосфатном буфере (pH 7,4) путем механического встряхивания и нагревали до 37 °C в течение 1 ч. Кверцетин, растворенный в этаноле, добавляли к липиду, находящемуся в органическом растворителе, перед формированием липосом (добавление изнутри), или в суспензию готовых липосом (добавление извне).

Определение антирадикальной активности комплекса кверцетина с алюминием хемилюминесцентным методом

Определение степени ингибирования процесса образования активной формы кислорода в присутствии комплекса [кверцетин + Al (III)] в модельной биохимической системе, содержащей пероксид водорода (H_2O_2) $3 \cdot 10^{-5}$ %, гемоглобин (Hb) $5 \cdot 10^{-7}$ М и люминол, было выполнено на хемилюминесцентном приборе LK В «Wallac-1251». Реакционная среда содержала 0,20 мкМ Hb и 10 мкМ люминола в фосфатном буфере (20 мМ Na_2HPO_4 , 100 мкМ ЭДТА, pH 7,4). Иницирование свободнорадикального окисления осуществляли введением 20 мкМ пероксида водорода.

Исследование кверцетина и его комплекса с алюминием с помощью адиабатной дифференциальной сканирующей калориметрии

Температурную зависимость избыточного удельного теплопоглощения (далее

термограммы) липидных мембран регистрировали с помощью дифференциального адиабатного сканирующего микрокалориметра ДАСМ-4 (СКБ АН СССР, г. Пущино). Все измерения проведены в фосфатно-солевом растворе (20 мМ Na_2HPO_4 , 145 мМ NaCl, pH 7,4), при скорости прогрева 1 К/мин. Концентрация липида составляла 0,2 мг/мл. Анализ термограмм проводили с помощью MicroCal™ Origin™ 5 (Microcal Software, Inc., Northampton, MA USA).

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ исследуемых веществ методом УФ-видимой спектроскопии

Спектр поглощения кверцетина в этаноле содержит характерную для флавонолов полосу I в длинноволновой области (λ_{max} 375 нм) и полосу II в коротковолновой области (λ_{max} 255 нм). В результате комплексобразования в УФ-спектре поглощения кверцетина максимум полосы I сдвигается с 375 до 435 нм (батохромный сдвиг). Проблема состава комплексов флавоноидов с ионами металлов является предметом многочисленных научных исследований, и нельзя сказать, что она решена и в настоящее время. Доказано, что хелатирование кверцетином Al^{3+} происходит только по двум центрам – с участием 4-оксогруппы и 3-ОН-группы, а также с участием 3',4'-дигидроксигруппировки (рис. 1) [9].

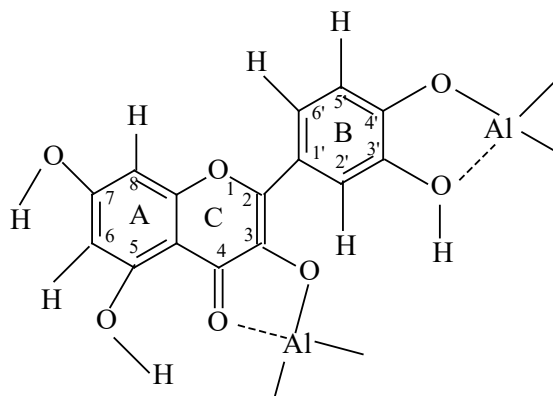


Рис. 1. Центры хелатирования комплексов кверцетина с хлоридом алюминия [9]

Данные о комплексообразовании кверцетина с ионами Al (III) и Fe (III) получены из нескольких исследований [10], сочетающих экспериментальные и теоретические подходы [6]. В водном растворе комплексообразование происходило при соотношении лиганд / катионы 1:1 для Al^{3+} [6].

Методом молярных отношений (методом «насыщения») [11] в условиях наших

экспериментов мы определили стехиометрию комплекса $[Qr + Al^{3+}]$ как 1:1 по интенсивности максимума в спектре поглощения при 430 нм

Определение антирадикальной активности комплекса кверцетина с алюминием хемилюминесцентным методом

Модельная система для тестирования антиокислительной активности кверцетина и его комплексов с алюминием, в составе которого содержалась значительная часть метгемоглобина (MetHb), при взаимодействии с H_2O_2 приводит к образованию феррил-радикалов [12]. Указанные радикалы индуцируют свободнорадикальное

окисление люминола, сопровождающееся хемилюминесценцией (ХЛ). Количество выделившихся квантов света ХЛ пропорционально количеству образовавшегося конечного продукта окисления и, следовательно, является мерой степени окисленности ЛМ. Добавление в данную модельную систему веществ, способных препятствовать окислению ЛМ (антиоксидантов), будет приводить к уменьшению количества квантов света ХЛ.

На рис. 2 представлена кинетика хемилюминесценции, развиваемая в данной модельной системе, после введения пероксида водорода.

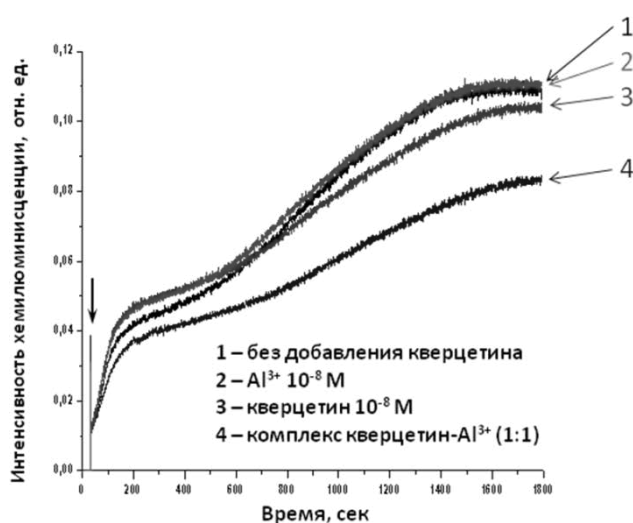


Рис. 2. Кинетика хемилюминесценции в модельной системе гемоглобин – люминол после введения пероксида водорода. Стрелкой указан момент введения пероксида водорода

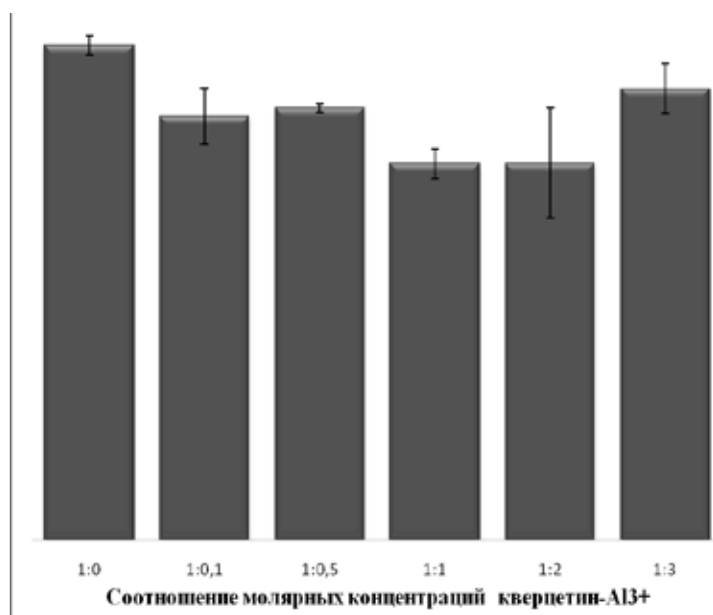


Рис. 3. Диаграмма зависимости значения максимума интенсивности хемилюминесценции от молярных соотношений веществ

Видно, что после добавления H_2O_2 к реакционной среде, содержащей гемоглобин и люминол, развивается свечение ХЛ, которое достигает некоторого максимального значения. В системе, содержащей кверцетин и возрастающие концентрации алюминия, происходило уменьшение амплитуды свечения до определенного соотношения молярных концентраций, а затем происходило возрастание интенсивности хемилюминесценции. Максимальная интенсивность свечения (амплитуда ХЛ) была выбрана в качестве измеряемого параметра.

По полученным значениям была построена диаграмма зависимости значения максимума развивающейся хемилюминесценции от молярных соотношений веществ (рис. 3).

Интенсивность хемилюминесценции снижалась при добавлении ионов алюминия. Минимальное значение наблюдается при молярных соотношениях добавленных веществ 1:1 и 1:2. При соотношении 1:3 наблюдается повышение интенсивности хемилюминесценции относительно соотношений веществ 1:1 и 1:2. Однако интенсивность свечения системы при добавлении металлокомплекса ниже, чем при добавлении свободного кверцетина. Из проведенных ранее экспериментов видно, что алюминий не оказывает влияния на кинетику хемилюминесценции.

Влияние кверцетина и его комплекса с алюминием на фазовый переход в липидной мембране

Взаимодействие флавоноидов с биологическими мембранами является важным процессом, определяющим их действие на клетку в целом [13]. При изучении механизмов взаимодействия биологически

активных веществ с липидным бислоем, важное место занимают исследования влияния этих веществ на фазовые переходы мембран, так как они дают информацию о месте локализации вещества в бислое в модельных условиях, о тонких механизмах взаимодействия с липидами, что способствует глубокому пониманию его действия на более высоком биологическом уровне. Фазовые переходы в липидных мембранах изучены достаточно детально. Мы исследовали влияние кверцетина и комплекса с ионами алюминия на плавление липидной мембраны (липосомы), сформированной из ДМФХ.

Кверцетин (Qr) в концентрациях от 10^{-6} до 10^{-5} М незначительно подавляет главный фазовый переход в мембранах, но при концентрациях $5 \cdot 10^{-5}$ и 10^{-4} он вызывает снижение температуры главного фазового перехода. Его комплекс с Al^{3+} (при молярном соотношении от 1:0,5 до 1:10) вызывает снижение T_m , однако меньше влияет на кооперативность.

Для флавоноидов, так же как для многих других биологически активных веществ, гидрофобность и, соответственно, способность взаимодействовать с биологическими мембранами является одним из необходимых условий проявления фармакологической активности. Представленные нами ранее экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при образовании комплексов флавоноидов с катионами Fe^{3+} наблюдается изменение липофильности этих веществ, а также их способности влиять на фазовое поведение липидов. Подобные явления недавно были описаны нами в отношении комплексов флавоноидов с катионами железа (II) [14].

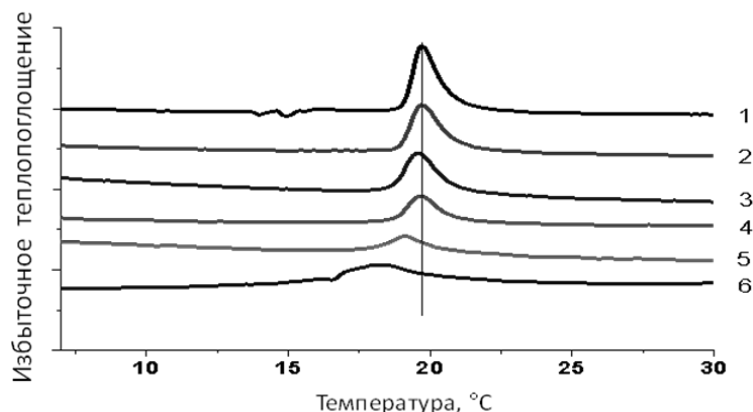


Рис. 4. Термограммы плавления липидов ДМФХ (0,2 мг/мл). 1 – контроль. В присутствии кверцетина (Qr): 2 – $1 \cdot 10^{-6}$ М, 3 – $5 \cdot 10^{-6}$ М, 4 – $1 \cdot 10^{-5}$ М, 5 – $5 \cdot 10^{-5}$ М, 6 – $1 \cdot 10^{-4}$ М, 6 – $5 \cdot 10^{-4}$ М

Таблица 1

Параметры плавления липидов ДМФХ, определенных из термограмм, приведенных на рис. 4

Образец	Максимум температуры перехода ($T_{\max}$), °C	Полуширина перехода ($\Delta T_{1/2}$), °C	Энтальпия (ΔH), Ккал/моль
Липосомы (ДМФХ, 0,2 мг/мл)	19,7	1,0	3,72
Липосомы+Qr, $1,0 \cdot 10^{-6}$ М	19,7	1,2	3,05
Липосомы+Qr, $5,0 \cdot 10^{-6}$ М	19,6	1,2	2,81
Липосомы+Qr, $1,0 \cdot 10^{-5}$ М	19,7	1,2	1,91
Липосомы+Qr, $5,0 \cdot 10^{-5}$ М	19,1	1,3	0,95
Липосомы+Qr, $1,0 \cdot 10^{-4}$ М	18,2	2,4	1,81

Таблица 2

Параметры плавления липидов ДМФХ (0,2 мг/мл) в присутствии комплекса [Qr + Al³⁺] при различных молярных соотношениях веществ

Образец	Максимум температуры перехода ($T_{\max}$), °C	Полуширина перехода ($\Delta T_{1/2}$), °C	Энтальпия (ΔH), Ккал/моль
Липосомы (ДМФХ, 0,2 мг/мл)	19,7	1,2	3,84
Липосомы+[Qr+Al ³⁺], 1:0,1	19,8	1,7	3,23
Липосомы+[Qr+Al ³⁺], 1:0,5	19,5	1,8	4,21
Липосомы+[Qr+Al ³⁺], 1:1	19,5	1,7	3,81
Липосомы+[Qr+Al ³⁺], 1:5	19,1	1,4	1,55
Липосомы+[Qr+Al ³⁺], 1:10	18,9	1,3	0,61

На основании полученных данных можно заключить, что в фосфолипидном бислое процессы комплексообразования флавоноидов с катионами алюминия могут отличаться от таковых в водном растворе. В настоящее время не существует общей теории, позволяющей связать структуру флавоноидов с их антиоксидантной активностью. Неверно утверждать, что какие-то флавоноиды более эффективны, чем другие, не учитывая конкретные условия эксперимента и особенностей окислителя.

Выводы

1. Методом УФ-видимой спектроскопии получено, что при смешивании флавоноида кверцетина с ионами трехвалентного алюминия образуются комплексы с соотношением кверцетин : Al³⁺ как 1: 1.
2. Антирадикальная активность комплекса кверцетин : Al (III) выше, чем у свободного флавоноида по данным хемилюминесценции в модельной системе гемоглобин – люминол – пероксид водорода.

3. Кверцетин в концентрациях от $1,0 \cdot 10^{-6}$ М до $1,0 \cdot 10^{-5}$ М незначительно подавляет главный фазовый переход в мембранах, но при концентрациях

$5,0 \cdot 10^{-5}$ М и $1,0 \cdot 10^{-4}$ М он вызывает снижение температуры главного фазового перехода. Комплекс флавоноида с Al³⁺ (при молярном соотношении от 1:0,5 до 1:10) вызывает снижение T_m , однако меньше влияет на кооперативность.

Список литературы

1. Xu D., Hu M.J., Wang Y.Q., Cui Y.L. Antioxidant Activities of Quercetin and Its Complexes for Medicinal Application. *Molecules*. 2019. Vol. 24. No. 6. P. 1123–1138. DOI: 10.3390/molecules24061123.
2. Salehi B., Machin L., Monzote L., Sharifi-Rad J., Ezzat S., Salem Mohamed A., Merghany R.M., El Mahdy Nihal M., Kiliç C.S., Sytar O., Sharifi-Rad M., Sharopov F., Martins N., Martorell M., Cho W. Therapeutic Potential of Quercetin: New Insights and Perspectives for Human Health. *ACS Omega*. 2020. Vol. 5. No. 20. P. 11849–11872. DOI: 10.1021/acsomega.0c01818.
3. Zu Y., Wu W., Zhao X., Li Y., Wang W., Zhong C., Zhang Y., Zhao X. Enhancement of solubility, antioxidant ability and bioavailability of taxifolin nanoparticles by liquid

antisolvent precipitation technique. *Int. J. Pharm.* 2014. Vol. 471. No. (1–2). P. 366–376. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2014.05.049.

4. Samsonowicz M., Regulski E. Spectroscopic study of molecular structure, antioxidant activity and biological effects of metal hydroxyflavonol complexes. *Spectrochim. Acta Part A*. 2017. Vol. 173. P. 757–771. DOI: 10.1016/j.saa.2016.10.031.

5. Mendoza E.E., Burd R. Quercetin as a Systemic Chemopreventative Agent: Structural and Functional Mechanisms. *Mini-Rev. Med. Chem.* 2011, Vol. 11. P. 1216–1221. DOI: 10.2174/13895575111091216.

6. Corrente G.A., Malacaria L., Beneduci A., Furia E., Marino T., Mazzone G. Experimental and theoretical study on the coordination properties of quercetin towards aluminum(III), iron(III) and copper(II) in aqueous solution. *J. Mol. Liq.* 2021. Vol. 325. P. 115171. DOI: 10.1016/j.molliq.2020.115171.

7. Wang Z., Wei X., Yang J., Suo J., Chen J., Liu X., Zhao X. Chronic exposure to aluminium and risk of Alzheimer's disease: A meta-analysis. *Neuroscience Letters*. 2016. Vol. 610. P. 200–206. DOI: 10.1016/j.neulet.2015.11.014.

8. Malacaria L., Corrente G., Beneduci A., Furia E., Marino T., Mazzone G. A Review on Coordination Properties of Al (III) and Fe (III) toward Natural Antioxidant Molecules: Experimental and Theoretical Insights. *Molecules*. 2021. Vol. 26. P. 2603–2627. DOI: 10.3390/molecules26092603.

9. Тюкавкина Н.А., Зурабян С.Э., Белобородов В.Л. *Органическая химия: учебник для вузов: В 2 кн. Специальный курс*. М.: Дрофа, 2008. 592 с.

10. Kejík Z., Kaplánek R., Masařík M., Babula P., Matkowski A., Filipenský P., Vesela K., Gburek J., Sýkora D., Martásek P., Jakubek M. Iron Complexes of Flavonoids-Antioxidant Capacity and Beyond. *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22. P. 646–647. DOI: 10.3390/ijms22020646.

11. Inczedy J. *Analytical applications of complex equilibria*, Ellis Horwood Ltd., New York, 1976.

12. Теселкин Ю.О., Бабенкова И.В., Любичкий О.Б., Клебанов Г.И., Владимиров Ю.А. Определение антиоксидантной активности плазмы крови с помощью системы гемоглобин – пероксид водорода – люминол // *Вопросы медицинской химии*. 1997. Т. 44. № 1. С. 70–76.

13. Oteiza P.I., Erlejtman A.G., Verstraeten S.V., Keen C.L., Fraga C.G. Flavonoid-membrane interactions: a protective role of flavonoids at the membrane surface? *Clin. Dev. Immunol.* 2005. Vol. 12. P. 19–25. DOI: 10.1080/10446670410001722168.

14. Kim Yu.A., Tarahovsky Yu.S., Yagolnik E.A., Kuznetsova S.M., Muzafarov E.N. Lipophilicity of flavonoid complexes with iron (II) and their interaction with liposomes. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2013. Vol. 431. P. 680–685. DOI: 10.1016/j.bbrc.2013.01.060.

СТАТЬЯ

УДК 334.7

ОБЪЕДИНЕНИЕ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО СПОСОБАМ И ФОРМАМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Лехтянская Л.В.

*ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»,
филиал, Находка, e-mail: lirika20042004@mail.ru*

В данной статье рассматривается объединение ресурсов предприятий по формам и способам деятельности. Слияние выступает в виде формы, где несколько организаций начинают существовать как одна организационная структура. Данный процесс является механизмом укрупнения организаций. Даются основные экономические понятия, связанные с интеграцией или диверсификацией тех или иных предприятий, методы организации производства и предоставления услуг. Анализируются факторы, влияющие на эффективное развитие предприятий, возникающие проблемы и пути их решения. Раскрываются тенденции современных организаций: повышение эффективности деятельности за счет диверсификации, а также использование различных вариантов объединений. Анализ существующей организации и управления деятельностью российских предприятий свидетельствует о том, что созданные в них подразделения в большинстве случаев стараются уделять внимание маркетинговым и прогнозным исследованиям по созданию продукции для конкретного потребителя. Это составляет новизну решаемых задач и приобретение нового практического опыта. В настоящее время современные предприятия не должны ограничиваться использованием одной формы организации в своей деятельности. Необходимо использовать разнообразные организационные формы, учитывая специфические условия конкретного рынка, детально адаптируя их к собственным потребностям.

Ключевые слова: интеграция предприятий, организационная структура, организационные формы, эффективность деятельности, диверсификация, экономика, рынок, консорциум, картель, холдинг

ASSOCIATION OF RESOURCES OF ENTERPRISES BY METHODS AND FORMS OF ACTIVITY

Lekhtyanskaya L.V.

*Vladivostok State University of Economics and Service, branch, Nakhodka,
e-mail: lirika20042004@mail.ru*

This article discusses the pooling of enterprise resources by forms and methods of activity. Merger acts as a form where several organizations begin to exist as one organizational structure. This process is a mechanism for the consolidation of organizations, as well as the basic economic concepts associated with the integration or diversification of certain enterprises, methods of organizing production and providing services. The factors influencing the effective development of enterprises, emerging problems and ways to solve them are analyzed. The trends of modern organizations are revealed – increasing the efficiency of activities through diversification, as well as the use of various options for associations. An analysis of the existing organization and management of the activities of Russian enterprises indicates that the divisions created in them in most cases try to pay attention to marketing and predictive research to create products for a particular consumer. This is the novelty of the tasks being solved and the acquisition of new practical experience. At present, modern enterprises should not be limited to the use of one form of organization in their activities. It is necessary to use a variety of organizational forms, taking into account the specific conditions of a particular market, adapting them in detail to your own needs.

Keywords: integration of enterprises, organizational structure, organizational forms, performance efficiency, diversification, economics, market, consortium, cartel, holding

Объединение производственных ресурсов составляет понятие интеграции. Слияние выступает в виде формы, где несколько организаций начинают существовать как одна организационная структура. Данный процесс является механизмом укрупнения организаций. Существует три вида слияния. Первый вид – вертикальный, характеризующийся объединением процессов производства, которые следуют поэтапно. Такое слияние часто возникает, когда две организации выпускают компоненты для производства одной продукции. Важным положительным эффектом выступает при такой интеграции собственное производство продукции в обход посреднических фирм. Второй вид – горизонтальная интеграция, для неё характер-

но объединение организаций, производящих однотипную продукцию, товар. Компании получают выгоды при производстве, благодаря увеличению масштабов производимой продукции. Происходит рост доли на рынке сбыта. Как следствие – уменьшение численности организаций, производящих один продукт. Третий вид – конгломератная интеграция. Характерно объединение разных производств, которые становятся одной организационной структурой.

Цель исследования – рассмотреть содержательную сторону исследуемых понятий, изучить возможности эффективного использования представленных организационных форм, сделать анализ описываемых видов интеграции предприятий.

Материалы и методы исследования

Объектом является слияние организаций. Исследования были организованы с помощью методов статистики, логики, сравнения. Вопросам интеграции посвящено достаточное количество работ. Теоретико-методологический характер работ отмечается у многих исследователей. В одних работах авторы описывают вертикальную интеграцию. Авторы работ уделяют внимание двум подходам. Один – неоклассический Р. Денекер, Дж. Стиглиц, О. Харт – интеграция описана как элемент рынка. Служит предметом устранения несовершенной конкуренции. Неоинституциональный взгляд концентрирует внимание на действии продуктивности контрактов внутри фирмы и на рынке. Эти идеи принадлежат Р. Коуз; О. Уильямсон описывает идею трансфертных цен, действующих в интегрированных организациях.

Интеграция – явление новое, характеризующее на уровне социума – человеческий фактор, геополитический фактор – государства, составляющее некое единство. Историческое начало данного явления фиксируется во второй половине XX в. Первоначально его употребляли в отношении национальных объединений. Далее это были объединения государств разного экономического и политического строя. В настоящей действительности используется в отношении действующих организаций, при наличии общего решения они объединяются, вырабатывают стратегическую цель развития и взаимодействия. При таком подходе организации становятся неуязвимыми на рынке такого же рода предложений, что даёт им возможность стать конкурентоспособными [1].

Экономические тенденции развития значимых направлений для страны имеют характерные черты открытости, что влечёт не только положительный, но и отрицательный эффект. Если рассмотреть это на примере туризма, как одного из важных направлений, то возможности бизнеса использованы и для иностранных потребителей. Как следствие, возникал отток денежных средств. По статистическим данным это довольно большой объём поступлений относительно данной сферы. Это сейчас кардинально изменилось. Европейские страны, закрывая перелёты для наших самолётов, в значительной степени уменьшают сферу туристского предложения для российских туристов. А значит, идет отток средств. Большинство стран Шенгенской зоны и Евросоюза, которые заинтересованы в приеме российских туристов, не спешат с действиями, направленными на приостановку или полное прекращение выдачи виз.

Вторым отрицательным моментом можно назвать то, что Россия, согласно статистике, имеет низкий показатель туристской подвижности населения. Третье – существует всем известная ситуация, в которой отечественные турфирмы работают как посредники, занимаясь тем, что не разрабатывают и предлагают свои интересные для покупателя маршруты, а перепродают туристские предложения уже разработанных маршрутов. В связи с таким положением мы можем говорить о недостаточной финансовой составляющей, которая не позволяет российским турфирмам конкурировать с большим объёмом существующих организаций в этой отрасли. Решением данной проблемы может быть реинжиниринг как организаций, так и отрасли, новые разработки и решения современного менеджмента.

Результаты исследования и их обсуждение

В современной науке управления организацией диверсификация способствует улучшению деятельности организации, её продуктивности, переход на новые плановые показатели и ступени развития даёт толчок для включения механизма обновления и новой жизни организации. Для туристской отрасли также использование этого механизма будет прорывным, будет способствовать росту эффективности. Также можно использовать объединения организаций для масштабности деятельности и расширения возможностей. Термин диверсификация – расширение ассортимента, изменение вида продукции, производимой предприятием, фирмой, освоение новых видов производств, с целью повышения производительности, финансовой прибыли, выгоды, достижение результативности производства, извлечение экономического интереса, недопущение банкротства предприятия [2].

Рассмотрим вертикальную диверсификацию на примере производственных организаций. Предприятия закупают новое оборудование, производственные линии. Применение в технологическом цикле будет проходить раньше предприятия, которое обслуживает. Получаем преимущество на фоне конкуренции. Далее получаем регулярность и надёжность поставок. Обеспеченность и гарантии изготовителей производственной сферы и сырьевой базы будут сильной стороной организации.

Расширение производства можно применять в том случае, когда происходит переизбыток на рынке предложения, падает спрос на услуги. Возникает резкий скачок в сторону конкуренции.

В целях оптимального решения задач по вопросам, связанным с непосредственной деятельностью предприятий, выгодной реализации продукции, для проведения качественно и масштабно маркетинговых изысканий организации объединяются в стратегические союзы. Нужно обратить внимание на то, что данные союзы не затрагивают собственность входящих в союз организаций. Данное сотрудничество не лишает предприятие-союзника возможности иметь свой рынок сбыта.

Корпоративное звено в развитии экономики страны – новая тенденция, диктуемая временем и спецификой нынешнего состояния многих отраслей. Актуальность процессов интеграции, исследование и развитие новых форм кооперации возникли в связи с проявившимися факторами недостаточного инвестирования, падением госзаказов, а также большой неопределённостью нынешнего положения в мировой экономике. К специфическим факторам, которые присущи нашей стране, являющимся мотиваторами к объединению организаций, можно отнести транзакционные издержки, изменившиеся отношения между предприятиями.

В современных условиях получили развитие такие формы интеграции, как финансово-промышленные группы, корпорации.

При осуществлении деятельности в большом производстве используется форма управления корпорация, является юридическим лицом. Имеет определённые полномочия – это право подписания договоров, оформление кредитов. Не все акционеры несут ответственность за действия корпорации. Направления осуществления деятельности корпорации зависят от постановки задач, стоящих в определённый период развития экономики. В 1950-х гг. доминирующей проблемой являлась организация и пополнение предприятий современным оборудованием и технологиями, в 1960-х гг. – вопросы обеспечения продуктами, в 1970-х гг. – рынки, в 1980-х гг. – работа по вопросам конкурентных преимуществ, в 1990-х гг. – вопросы, связанные с внешней средой, экологией, различные моменты, связанные с технологическим характером. Современный взгляд на то, что представляет собой современная корпорация – это организации, для которых большую важность имеют методы управления компанией и формы. Головная компания с множеством дочерних обществ – такова структура корпорации. Также у головной компании могут быть филиалы, агентства и т.д., которые имеют свой юридический статус и форму хозяйственной и оперативной деятельно-

сти. Воздействие на решения генерального директора осуществляется правом голоса, непосредственного руководства акционеры не осуществляют. Представляет интересы пайщиков правление, которое избирается ими. Интересна эта форма организации тем, что существует свободная покупка и продажа на рынке акций. В рыночной экономике организационная форма корпорации удобна тем, что для осуществления значимых проектов осуществляет привлечение капитала и распределение рисков. Участие в любом проекте носит в себе риск. В данном случае деление на части при вложении во множество компаний помогает уменьшить уровень риска.

Практически любая отрасль в нашей стране представляет структуру в виде корпорации. Предприятия осуществляют свою деятельность во взаимосвязи по принципу технологической цепочки. Нужно отметить рациональность хозяйственных связей. Отраслевая система управления, которая существовала в советский период, тормозила процесс межотраслевой интеграции и образования многоотраслевых объединений – корпораций. Период современного развития страны отличается свободным развитием межотраслевых форм организации производства.

Экономические тенденции современного развития дают возможность создания и позиционирования межотраслевых корпораций. Корпорация – организационная структура, при образовании которой у предприятия возникает шанс не только выжить в сложной конкурентной борьбе, но и сохранить кадровый состав организации, получение заказов, получение материально-технического снабжения и, главное, сбыт продукции. Охарактеризовать такое состояние можно как экономическое развитие и прогресс. Примером образования корпорации в России можно назвать нефтяную отрасль. Это создание нефтяных акционерных компаний. Базовые критерии создания нефтяных корпораций – это технологическая сторона и производство.

Рассмотрим, что представляет собой холдинговая компания. Это организация, которая является держателем акций других компаний. Основной целью холдинга выступает контроль и функция управления. В нашей стране имеют место три вида холдинга. К ним можно отнести промышленные компании с интегративным компонентом; холдинги, объединяющие банки. Есть ряд областей, контроль над которыми обусловлен спецификой сферы деятельности. Назовём крупнейшие холдинги, которые в настоящее время функционируют в стра-

не. «Югра Сервис» – один из крупнейших в сфере гостиничного дела и туристской отрасли. В составе этого холдинга двадцать организаций широкого охвата деятельности. Нельзя не назвать многопрофильный холдинг АО «Интурист» – базовая компания и четыре крупные организации в составе: «Туроперирование», «Розничные продажи», «Гостиничный бизнес», «Транспортные услуги». Данная структура на протяжении 15 лет только укрепляет позиции на рынке, является конкурентоспособной, эффективной организацией. Её отличительные свойства – управленческие решения с учётом современных условий и меняющегося рынка, увеличение инвестиций. Характеризует холдинг замкнутая технологическая связующая добыча сырья – потребитель, возможность оперировать денежными ресурсами в единой системе. Все предприятия в системе холдинга заинтересованы в продуктивности деятельности. Также контроль холдинга может осуществляться и организациями разных видов и сфер деятельности. Из директоров обществ (дочерних) создаётся правление. Оно занимается вопросами генеральной линии деятельности холдинга, осуществляет контроль. Стратегия, цели, ресурсные возможности, кадровые назначения управленческого состава – вопросы, которыми занимается головная компания. Оперативная деятельность на рынке, деятельность компании – прерогатива дочерних обществ. Холдинг, как организационная структура, интересен тем, что это более простой способ получить возможность контролировать другую организацию, добровольность вхождения в холдинг. Обратим внимание, что на данном этапе развития экономики используется метод взаимного холдингового владения акциями. Диверсифицированный холдинг – компании (дочерние) принадлежат к разным отраслям, не имеют связей технологического характера и производственного. Управление в таком случае только финансовое. Дочерние предприятия самостоятельно принимают решения по оперативным вопросам. Современная ситуация в этом направлении складывается к созданию частных и частно-государственных структур.

Соглашение между организациями, банками, научными учреждениями представляет форму объединения, которое называется консорциум. Главная цель создания консорциума – организация и проведение денежных операций для размещения займов, размещения акций, проведения эмиссионных операций. Также консорциум создаётся

в целях проведения и организации проектов научного характера с большим вложением денежных средств. Самостоятельность всех входящих в консорциум партнёров сохраняется, кроме части интересов, которая является базовой в деятельности консорциума. Стратегическая задача консорциума – конкурентное преимущество всех участников, входящих в его состав, на рынке. Консорциум – договорное объединение, носящее долговременный характер. Зарегистрированы консорциумы в форме товариществ с ограниченной ответственностью, акционерных обществ и др.

Примером консорциума является «Ривьера Деллэтна». Осуществляет деятельность данная организация, объединяющая предприятия по изготовлению вин, спиртных напитков, а также продуктов питания. Консорциум «Рубежи России» создали в 2020 г. шесть российских вузов.

БФУ имени И. Канта – ведущий вуз региона инициировал решение образовать Университетский консорциум. В состав консорциума вошли учреждения, деятельность которых направлена на исследования процессов в геополитике, регионах. Учредители консорциума: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (г. Архангельск), Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону), Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток), Севастопольский государственный университет (г. Севастополь) и Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского (г. Симферополь). В связи с формированием консорциума в сфере образования, расширяются возможности организации практик, стажировок у студентов. Создание на базе шести университетов исследовательской площадки даст возможность научного обсуждения сложившейся геополитической ситуации, вопросов по сохранению правды о Великой Отечественной войне. Консорциум даст возможность расширить усилия в исследовательском спектре, даст более высокий уровень в осуществлении экспертной работы по профилю. Вузы объединят усилия в сфере трансрегиональных морских исследований. Заметим, что такого вида консорциум в сфере образования является первым опытом такого рода. Значимо то, что университеты, вошедшие в консорциум, расположены в стратегически важных регионах страны. Поэтому исследования получат общероссийский охват. Исследования дадут значимые результаты в осмыслении проблем, вызовов, которые остро встали перед нашей страной [3].

Одной из распространённых форм, в пределах одной отрасли, интеграции организаций является картель. Форма объединения для участников интересна тем, что остаётся финансовая и производственная самостоятельность. Юридическая сторона оформляется с помощью соглашения. Затрагиваемые положения такого соглашения – разделение рынков сбыта продукции, ценовая политика и др. условия сбыта. В туристической отрасли картель регулирует и принимает решения в сфере цен на проживание в гостиницах. Такое регулирование заключается в том, что самостоятельно ни одна гостиница не может назначать стоимость ниже того предела, который обозначен в решении картеля. Примером служит картельное соглашение по установлению высоких тарифов в отелях Франции. В соответствии с соглашением стоимость бронирования номеров была повышена. В случае невыполнения соглашения назначается штраф в пользу картеля. Спектр соглашений картелей в современных условиях включает патентные соглашения, обмен научной информацией. Картель может иметь государственную и частную форму собственности. Для государственных картелей правительство разрабатывает правила и инструкции, частная – заключает соглашения между собственниками. Данную форму государства применяют в тех случаях, когда в какой-либо отрасли наблюдается экономический спад в силу разных явлений или ситуаций. В таких случаях на небольшой срок создаётся картель, что является щадящим методом помощи таким предприятиям. Как пример классического картеля можно назвать «минтаевый» картель. Ассоциация добытчиков минтая объединила двадцать шесть компаний рыбного промысла на Дальнем Востоке страны. Картель влиял на ценовую политику рынка минтаевой продукции. Его деятельность создавала искусственный дефицит минтая на территории всей страны и подъём цены на продукцию. Соглашения распространялись на предприятия, входящие в картель. Одним из международных являлся океанский картель, занимающийся контейнерными перевозками, влияющими на торговлю между государствами [4].

Традиционная система промышленности и бизнеса Европы стоит сегодня на пороге значительных изменений из-за политических факторов, которые влекут резкие изменения экономики стран. Период общего экономического спада диктует необходимость принятия мер, призванных улучшить финансовое положение всех отраслей и сфер деятельности. Можно обозначить действия по консолидации, рационализации

предприятий многих отраслей. Гостиницы объединяются в гостиничные цепи [5].

Заключение

Рассмотрено слияние организаций, которое выступает в виде формы, где несколько организаций начинают существовать как одна организационная структура. Данный процесс является механизмом укрупнения организаций.

Такое слияние часто возникает, когда две организации выпускают компоненты для производства одной продукции. Важным положительным эффектом выступает при такой интеграции собственное производство продукции в обход посреднических фирм.

На основе исследуемых материалов в современной науке управления организациями диверсификация способствует улучшению деятельности организации, её продуктивности, переход на новые плановые показатели и ступени развития даёт толчок для включения механизма обновления и новой жизни организации.

Сделаны заключения о том, что корпоративное звено в развитии экономики страны – новая тенденция, диктуемая временем и спецификой нынешнего состояния многих отраслей. Актуальность процессов интеграции, исследование и развитие новых форм кооперации возникли в связи с проявившимися факторами недостаточного инвестирования, падением госзаказов, а также большой неопределённостью нынешнего положения в мировой экономике.

В современных условиях получили развитие такие формы интеграции, как финансово-промышленные группы, корпорации.

Определена основная цель образования холдинга. Это контроль и функция управления. В нашей стране имеют место несколько видов холдинга. К ним можно отнести промышленные компании с интегративным компонентом; холдинги, объединяющие банки. Есть ряд областей, контроль над которыми обусловлен спецификой сферы деятельности.

Названы крупнейшие холдинги, которые в настоящее время функционируют в стране.

Выделена главная цель создания консорциума – организация и проведение денежных операций для размещения займов, размещения акций, проведения эмиссионных операций. Также консорциум создаётся в целях проведения и организации проектов научного характера с большим вложением денежных средств. Стратегическая задача консорциума – конкурентное преимущество всех участников на рынке.

Одной из распространённых форм, в пределах одной отрасли, интеграции организаций является картель. Форма объединения для участников интересна тем, что остаётся финансовая и производственная самостоятельность.

Рассмотренные виды объединений предприятий дают большие возможности, усиливают стратегический потенциал каждого. Такие объединения в новой экономической ситуации помогут решить назревшие в данный период проблемы, сделать производственно-технологический цикл непрерывным и замыкающимся в пределах одного объединения.

Список литературы

1. Мильнер Б.З. Теория организации: учебник. 8-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2013. С. 848.
2. Степанова С.А., Крыга А.В. Экономика предприятия туризма: учебник. М., 2013. С. 90–117.
3. Федосеева В.А. Экономика организации (предприятия): учебное пособие. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018. С. 170. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/fedosееva-economika-organizacii.pdf> (дата обращения: 02.01.2022).
4. Касперович С.А., Коновальчик Г.О. Организация производства и управление предприятием: учебное пособие для студентов технических специальностей. Минск: БГТУ, 2012. С. 344.
5. Иванов Ю.В. Интеграция предприятий // Российское предпринимательство. 2000. Т. 1. № 10. С. 30–36.