

№ 10 (88) ▪ 2019  
Часть 1 ▪ Октябрь

---

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

***INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL***

---

**ISSN 2303-9868 PRINT  
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург  
2019



Периодический теоретический и научно-практический журнал.  
Выходит 12 раз в год.  
Учредитель журнала: Соколова М.В.  
Главный редактор: Меньшаков А.И.  
Адрес издателя и редакции: 620137, г. Екатеринбург, ул.  
Академическая, д. 11, корп. А, оф. 4.  
Электронная почта: [editors@research-journal.org](mailto:editors@research-journal.org)  
Сайт: [www.research-journal.org](http://www.research-journal.org)  
16+

**№ 10 (88) 2019  
Часть 1  
Октябрь**

---

Дата выхода 18.10.2019  
Подписано в печать 13.10.2019  
Тираж 200 экз.  
Цена: бесплатно.  
Заказ 295315.  
Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Отпечатано в типографии "А-принт".  
620049, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского, д. 1.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких-либо ограничений. Тип лицензии CC поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Актуальная информация об индексации журнала в библиографических базах данных <https://research-journal.org/indexing/>.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПН № ФС 77 – 51217.**

**Члены редколлегии:**

**Филологические науки:**

*Растягеев А.В.* д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);  
*Сложеникина Ю.В.* д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);  
*Штрекер Н.Ю.* к.филол.н., Калужский Государственный Университет имени К.Э. Циолковского (Калуга, Россия);  
*Вербицкая О.М.* к.филол.н., Иркутский Государственный Университет (Иркутск, Россия).

**Технические науки:**

*Пачурин Г.В.* д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия);  
*Федорова Е.А.* д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия);  
*Герасимова Л.Г.* д-р техн. наук, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (Апатиты, Россия);  
*Курасов В.С.* д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);  
*Оськин С.В.* д-р техн. наук, проф. Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия).

**Педагогические науки:**

*Куликовская И.Э.* д-р пед. наук, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия);  
*Сайкина Е.Г.* д-р пед. наук, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия);  
*Лукиянова М.И.* д-р пед. наук, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Ульяновск, Россия);  
*Ходакова Н.П.* д-р пед. наук, проф., Московский городской педагогический университет (Москва, Россия).

**Психологические науки:**

*Розенова М.И.* д-р психол. наук, проф., Московский государственный психолого-педагогический университет (Москва, Россия);  
*Ивков Н.Н.* д-р психол. наук, Российская академия образования (Москва, Россия);  
*Каменская В.Г.* д-р психол. наук, к. биол. наук, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина (Елец, Россия).

**Физико-математические науки:**

*Шамолин М.В.* д-р физ.-мат. наук, МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва, Россия);  
*Глезер А.М.* д-р физ.-мат. наук, Государственный Научный Центр ЦНИИчермет им. И.П. Бардина (Москва, Россия);  
*Свиштунов Ю.А.* д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

**Географические науки:**

*Умывакин В.М.* д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Военный авиационный инженерный университет (Воронеж, Россия);  
*Брылев В.А.* д-р геогр. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия);  
*Огуреева Г.Н.* д-р геогр. наук, проф., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

**Биологические науки:**

*Буланый Ю.П.* д-р биол. наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия);  
*Аникин В.В.*, д-р биол. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского (Саратов, Россия);  
*Еськов Е.К.* д-р биол. наук, проф., Российский государственный аграрный заочный университет (Балашиха, Россия);  
*Шеуджен А.Х.* д-р биол. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);  
*Ларионов М.В.* д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия).

**Архитектура:**

Янковская Ю.С. д-р архитектуры, проф., Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Россия).

**Ветеринарные науки:**

Алиев А.С. д-р ветеринар. наук, проф., Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия);  
Татарникова Н.А. д-р ветеринар. наук, проф., Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова (Пермь, Россия).

**Медицинские науки:**

Никольский В.И. д-р мед. наук, проф., Пензенский государственный университет (Пенза, Россия);  
Ураков А.Л. д-р мед. наук, Ижевская Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

**Исторические науки:**

Меерович М.Г. д-р ист. наук, к. архитектуры, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск, Россия);  
Бакулин В.И. д-р ист. наук, проф., Вятский государственный университет (Киров, Россия);  
Бердинских В.А. д-р ист. наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Россия);  
Лёвочкина Н.А. к.ист.наук, к.экон.н. ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия).

**Культурология:**

Куценков П.А. д-р культурологии, к.искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

**Искусствоведение:**

Куценков П.А. д-р культурологии, к.искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

**Философские науки:**

Петров М.А. д-р филос. наук, Института философии РАН (Москва, Россия);  
Бессонов А.В. д-р филос. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);  
Цыганков П.А. д-р филос. наук., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия);  
Лойко О.Т. д-р филос. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск, Россия).

**Юридические науки:**

Костенко Р.В. д-р юрид. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);  
Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Северо-Кавказский федеральный университет г. Пятигорске (Пятигорск, Россия);  
Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);  
Ерғашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

**Сельскохозяйственные науки:**

Важов В.М. д-р с.-х. наук, проф., Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина (Бийск, Россия);  
Раков А.Ю. д-р с.-х. наук, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Михайловск, Россия);  
Комлацкий В.И. д-р с.-х. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);  
Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Белгород, Россия);  
Наумкин В.П. д-р с.-х. наук, проф., Орловский государственный аграрный университет.

**Социологические науки:**

Замараева З.П. д-р социол. наук, проф., Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Россия);  
Солодова Г.С. д-р социол. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);  
Кораблева Г.Б. д-р социол. наук, Уральский Федеральный Университет (Екатеринбург, Россия).

**Химические науки:**

Абдиев К.Ж. д-р хим. наук, проф., Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);  
Мельдешов А. д-р хим. наук, Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);  
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия).

**Науки о Земле:**

Горяинов П.М. д-р геол.-минерал. наук, проф., Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Апатиты, Россия).

**Экономические науки:**

Бурда А.Г. д-р экон. наук, проф., Кубанский Государственный Аграрный Университет (Краснодар, Россия);  
Лёвочкина Н.А. д-р экон. наук, к.ист.н., ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);  
Ламоттке М.Н. к.экон.н., Нижегородский институт управления (Нижний Новгород, Россия);  
Акбулаев Н. к.экон.н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан);  
Кулиев О. к.экон.н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан).

**Политические науки:**

Завершинский К.Ф. д-р полит. наук, проф. Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

**Фармацевтические науки:**

Тринеева О.В. к.фарм.н., Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия);  
Кайшева Н.Ш. д-р фарм. наук, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия);  
Ерофеева Л.Н. д-р фарм. наук, проф., Курский государственный медицинский университет (Курс, Россия);  
Папанов С.И. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);  
Петкова Е.Г. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);  
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия);  
Ураков А.Л., д-р мед. наук, Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

**Екатеринбург  
2019**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

---

Матвеева К.И., Зюбин А.Ю., Самусев И.Г., Брюханов В.В. ГИГАНТСКОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА ОРГАНОЛЮМИНОФОРОВ, АДСОРБИРОВАННЫХ НА КВАРЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА .....	6
Сдвижков О.А., Мацнев Н.П. МАТРИЧНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ В АЛГЕБРЕ ЛОГИКИ .....	11
Трощев Ю.В. О ДИФФУЗИИ В РЕШЕТОЧНОМ ГАЗЕ ПРИ БОЛЬШИХ ГРАДИЕНТАХ КОНЦЕНТРАЦИЙ .....	17

---

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

---

Ильина М.Е., Курочкин И.Н. РАЗРАБОТКА ТЕРМОСТОЙКОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПЕНОМАТЕРИАЛА .....	26
Оладько В.С. РИСКИ КИБЕРЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ .....	31
Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. ВЛИЯНИЕ ОКСИДА ЛАНТАНА НА СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИ СТОЙКОЙ КЕРАМИКИ, ПОЛУЧАЕМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ШЛАМА .....	35
Шляхтенко П. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОРСА ПО ЗАРЯДАМ, ПОЛУЧЕННЫМ ПРИ КОНТАКТЕ С ЭЛЕКТРОДОМ .....	40

---

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ / SCIENCE ABOUT THE EARTH

---

Галиуллина А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОКА НА УСТЬЕВЫХ УЧАСТКАХ РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ .....	48
Лухнева О.Ф., Новопашина А.В. РЕЛЬЕФ МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА КАК РЕЗУЛЬТАТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМЛИ .....	51
Калинин А.И., Слепцова М.И. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЯКУТИИ .....	55
Соколова Н.В. ВЛИЯНИЕ ГИДРО- И ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ НА ХАРАКТЕР СОВРЕМЕННОГО ЭРОЗИОННОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ .....	60

---

## ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / GEOLOGY AND MINERALOGY

---

Ващалова Т.В., Гармышев В.В., Дубровин Д.В. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ТЕХНОСФЕРНЫХ ПОЖАРОВ: ОПЫТ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА .....	65
Нерода О.Н., Остапенко Н.С. ЗАВИСИМОСТЬ ПРОБЫ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТ СОСТАВА ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД .....	70

---

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

---

Бахшалиева А.Я. АНТИОКСИДАНТНЫЙ ЭФФЕКТ ЭКСТРАКТА ШАФРАНА ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ НЕВРОЗЕ .....	78
Бурмистров Д.А., Тихонов С.А., Бурмистрова Н.О. СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АТЛЕТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС .....	83
Ильина В.Н. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЦЕНОТИЧЕСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ <i>DACTYLORHIZA FUCHSII</i> (DRUCE) SOÓ (ORCHIDACEAE) .....	88
Карнаухов Г.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАПАСОВ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ ПРОМЫСЛОМ И ЛЮБИТЕЛЬСКИМ РЫБОЛОВСТВОМ В ЧОГРАЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ .....	92

Сариев Б.Т., Туменов А.Н., Бакиев С.С., Джунусов А.М., Абуов К.Н. ВЛИЯНИЕ СОВОКУПНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ СОЗРЕВАНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ПРИЖИЗНЕННОЙ ИКРЫ .....	95
Раваева М.Ю., Чуян Е.Н., Черетаев И.В., Придатко А.И., Шульгин В.Ф. ПОКАЗАТЕЛИ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС ПРИ ДЕЙСТВИИ БИС(2-ПИРИДИЛ)-3- (1,2,4-ТРИАЗОЛИЛ)ПРОПАНА.....	99
Черетаев И.В., Чуян Е.Н., Раваева М.Ю.З, Шульгин В.Ф. ВЛИЯНИЕ 1-ГИДРОКСИ-1,1-ЭТИЛИДЕНДИФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ПОВЕДЕНИЕ САМОК КРЫС В ТЕСТАХ «ОТКРЫТОЕ ПОЛЕ» И «ПРИПОДНЯТЫЙ КРЕСТООБРАЗНЫЙ ЛАБИРИНТ» .....	104

---

#### МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE

---

Дробязко П.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ДОЛАБОРАТОРНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ВАГИНИТЕ .....	110
Юрасова Е.Ю., Кирюхина С.В., Подсеваткин В.Г. ОСОБЕННОСТИ КЛИНИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМАТИЗАЦИИ ПСИХОПАТОЛОГИЧЕСКИХ СИНДРОМОВ ПРИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПСИХИЧЕСКИХ РАССТРОЙСТВАХ .....	115

---

#### ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

---

Ефимов М.Н., Васильев А.А., Муратов Д.Г., Карпачева Г.П., Сидорова Е.Н., Дзидзигури Е.Л., Ковтун А.В. ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ТВЕРДОГО РАСТВОРА Fe-Pd В ОДНОСТАДИЙНОМ МЕТОДЕ СИНТЕЗА МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ .....	120
---	-----

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.001>

# ГИГАНТСКОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА ОРГАНОЛЮМИНОФОРОВ, АДСОРБИРОВАННЫХ НА КВАРЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

Научная статья

Матвеева К.И.<sup>1</sup>, Зюбин А.Ю.<sup>2,\*</sup>, Самусев И.Г.<sup>3</sup>, Брюханов В.В.<sup>4</sup><sup>2</sup> ORCID:0000-0002-9766-1408;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

\* Корреспондирующий автор (azubin[at]mail.ru)

## Аннотация

В данной работе отражены результаты исследований по разработке методологии создания модифицированных гидрозолями серебряных наночастиц размером 44 нм кварцевых поверхностей для целей сенсорики. Предложен метод контролируемого синтеза гидрозолей серебра методами восстановления соли AgNO<sub>3</sub> цитратом натрия. Предложены среды, позволяющие реализовать эффект гигантского комбинационного рассеяния света на молекулах красителя родамина 6Ж. Показано, что порядок усиления сигнала комбинационного рассеяния света поверхностными плазмонами наночастиц серебра для молекул красителя родамина 6Ж может достигать порядков 10<sup>2</sup> раз. Показана эффективность практического использования модифицированных гидрозолями наночастиц серебра кварцевых поверхностей для получения разрешенных спектров молекулярной структуры красителя родамина 6Ж. Результаты данной работы, в перспективе могут быть использованы для анализа химических соединений в малых концентрациях, макроскопических биологических объектов.

**Ключевые слова:** серебро, наночастицы, плазмон, гигантское комбинационное рассеяние света, спектроскопия.

## GIANT RAMAN SCATTERING OF ORGANIC LUMINOPHORS ADSORBED ON QUARTZ SURFACE MODIFIED BY SILVER NANOPARTICLES

Research article

Matveeva K.I.<sup>1</sup>, Zyubin A.Yu.<sup>2,\*</sup>, Samusev I.G.<sup>3</sup>, Bruchanov V.V.<sup>4</sup><sup>2</sup> ORCID:0000-0002-9766-1408;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

\* Corresponding author (azubin[at]mail.ru)

## Abstract

This work shows the results of studies on the development of a methodology for creating hydrosol-modified silver nanoparticles with a size of 44 nm quartz surfaces for sensory purposes. A method for the controlled synthesis of silver hydrosols by means of reducing sodium salt AgNO<sub>3</sub> with sodium citrate is proposed. Media are proposed that enable the realization of the effect of giant Raman scattering by dye molecules of rhodamine 6G. It was shown that the order of amplification of the Raman signal by surface plasmons of silver nanoparticles for rhodamine 6G dye molecules can reach orders of magnitude 10<sup>2</sup> times. The efficiency of the practical use of hydrosols of silver nanoparticles of quartz surfaces to obtain the allowed spectra of the molecular structure of the rhodamine 6G dye is shown. In the future, the results of this work can be used to analyze chemical compounds in low concentrations and macroscopic biological objects.

**Keywords:** silver, nanoparticles, plasmon, giant Raman scattering, spectroscopy.

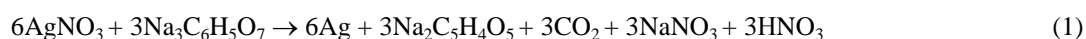
## Введение

Спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния света (ГКРС) применяется для безметочного анализа фазового состава широкого спектра веществ. Данный метод может применяться для анализа колебательных групп ДНК [3], лекарственных препаратов [6], пищевых добавок [4], клеток и спор [1], бактериальных клеток [5], для быстрой и надежной идентификации соединений в области «отпечатка пальца» 400-1800 см<sup>-1</sup> [7].

Главной особенностью спектроскопии ГКРС является присутствие усиливающего рассеяния агента, такого как наночастицы (НЧ) металла (золота, серебра, меди, платины), находящихся в контакте с аналитом. В перспективе спектроскопия ГКРС может выступать мощным аналитическим инструментом для точного, специфичного и воспроизводимого анализа структуры молекул [2].

## Методы и принципы исследования

Синтез НЧ серебра осуществляли по методике, описанной в [12], с использованием химически чистых реактивов (ОАО «Ленреактив», Санкт-Петербург) методом восстановления серебра из соли AgNO<sub>3</sub> с помощью цитрата натрия. Для этого готовили водный раствора цитрата натрия (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) концентрации C = 0,005 моль/л и доводили его до кипения на магнитной мешалке при интенсивном перемешивании 250 об/мин. После закипания, быстро, по каплям, добавляли 10 мл раствора AgNO<sub>3</sub>, с молярной концентрацией 0,002 моль/л и уменьшали температуру до 90 °С. Процесс химического восстановления серебра соответствовал следующему уравнению:



После добавления соли нитрата серебра раствор принимал желтую, а затем желто-зеленую окраску. После добавления нитрата серебра, процесс синтеза продолжали в течение 30 минут при температуре 90 °С.

Для исследования размеров частиц был применен метод фотонной корреляционной спектроскопии (ФКС), реализованный на установке динамического и статического рассеяния света Photocor Complex (Беларусь). Использовалась длина волны лазерного возбуждения  $\lambda = 473$  нм.

Для исследования спектров плазмонного поглощения частиц использовался спектрофлуориметр UV-2600 (Shimadzu, Япония). Регистрация поглощения проводилась в диапазоне длин волн  $\lambda = 200 - 800$  нм.

Для исследования спектров гигантского комбинационного рассеяния света использовался спектрометр комбинационного рассеяния света Centaur U (ООО «НаноСканТехнология», Россия и ЗАО «SolarLS», Республика Беларусь), на котором, помощью гелий-неонового лазера ( $\lambda = 632,8$  нм) мощностью 35 мВт были получены спектры гигантского комбинационного рассеяния света молекул родамина 6Ж ( $C = 5 \cdot 10^{-4}$  М) адсорбированных на одном и трех слоях, последовательно нанесенных на кварцевое стекло гидрозолей. Было проведено по десять экспериментов ГКС для каждого варианта модифицированных стекол. Эксперименты продемонстрировали хорошую повторяемость получаемых спектральных данных. Кварцевые стекла перед экспериментом были химически очищены. Модифицированные стекла получали методом налива на поверхность кварцевого стекла (размер 1x1 см) раствора цитратного золя Ag. Толщина пленки золя контролировалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) с помощью атомно-силового микроскопа Certus (ООО «НаноСканТехнология») (Рис 1). Для оценки толщины слоев выбирались участки площадью от 1,5 мкм до 0,4 мкм. Толщина одного слоя НЧ модифицированной поверхности составила 0,67 мкм (Рис 1а), а для трех слоев составила 1,4 мкм (Рис 1б). Погрешность измерения толщины слоя составляла 1 нм и равнялась латеральному разрешению АСМ микроскопа.

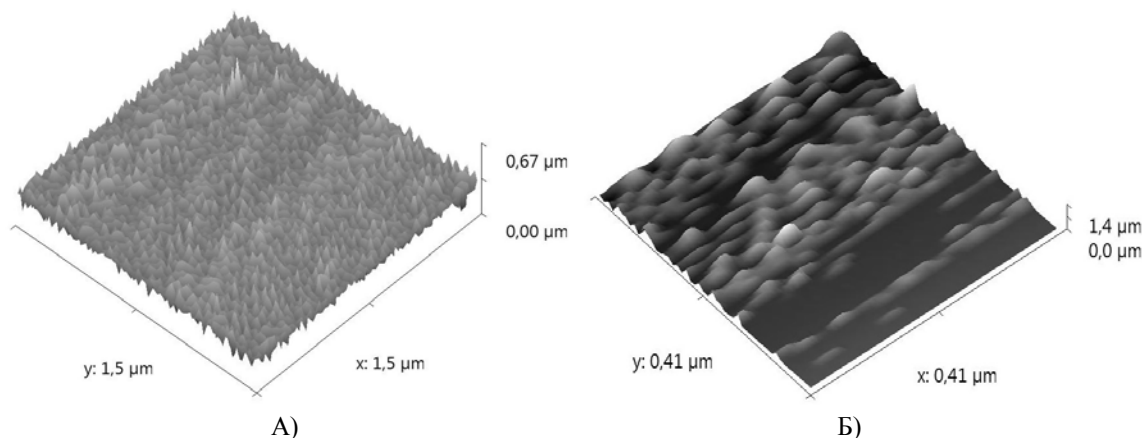


Рис. 1 – АСМ изображения поверхности модифицированного кварцевого стекла одним слоем НЧ (А), тремя слоями НЧ (Б)

После нанесения, слои золя сушили при комнатной температуре, после чего наносился новый слой. Из рисунка 1 видно, что слой НЧ был достаточно монолитным в случае однократного налива НЧ. Для случая трех слоев видно образование кластеров наночастиц серебра. Для каждого образца был рассчитан порядок усиления сигнала комбинационного рассеяния света. После получения, спектры сохранялись в формат .txt и проводилась дальнейшая обработка спектров с помощью программной среды KnowItAll (Biorad). Для спектров применялись алгоритмы фильтрации шумов по методу Савицкого-Голея и коррекция базовой линии спектра.

### Основные результаты

В результате синтеза был получен устойчивый гидрозоль наночастиц серебра с преобладающим размером 44 нм. Молярная концентрация полученного гидрозоля серебра составила  $C = 8 \cdot 10^{-10}$  М и была рассчитана по формуле 2:

$$C = \frac{3m}{4\pi r^3 \rho N_a V} \quad (2)$$

где:  $r$  – радиус частиц серебра,  $m$  – масса серебра в растворе;  $\rho$  – плотность серебра,  $N_a$  – постоянная Авогадро,  $V$  – объем раствора. Исследование спектральных характеристик зольей показало наличие максимума спектра плазмонного поглощения наночастиц на длине волны  $\lambda = 418$  нм (см. Рис. 2). Наличие широкого пика с наблюдаемым максимумом позволило применить такие частицы для последующего анализа красителя родамина 6Ж на кварцевых поверхностях.

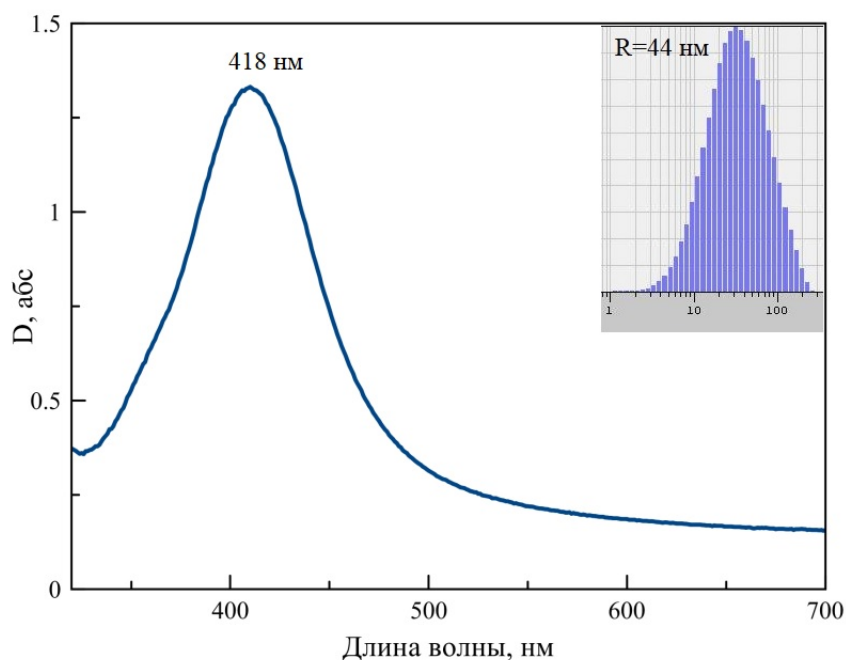


Рис. 2 – Спектр поглощения цитратного золя концентрации  $C = 8 \cdot 10^{-10}$  М и распределение наночастиц по размерам, полученное методом ФКС на вставке

Стоит отметить, что, несмотря на достаточно широкое распределение НЧ по размерам, основная частиц в гидрозоле находится в диапазоне размеров 5-120 нм (Рис. 1, вставка), что позволяет сделать вывод об обладании возможностью генерации плазмонов вблизи их поверхности [8].

На рисунке 3 приведены спектры ГКС красителя Р6Ж, адсорбированного на кварцевые поверхности одним и тремя слоями. Показано, что вклад в рассеяние дают как полосы скелетных колебаний ( $C=C$ ), лежащие в области  $200-600 \text{ см}^{-1}$ , так и  $C-H$ ,  $N-H$ ,  $C-N$  колебаний, лежащих в области  $1000-1600 \text{ см}^{-1}$ . Данный факт показывает перспективы использования модифицированных гидрозолями серебряных наночастиц кварцевых поверхностей как для анализа биообъектов, имеющих выраженные колебания в низкочастотной области [9], так и веществ, и их идентификации в области «отпечатка пальца» до  $1800 \text{ см}^{-1}$  [10].

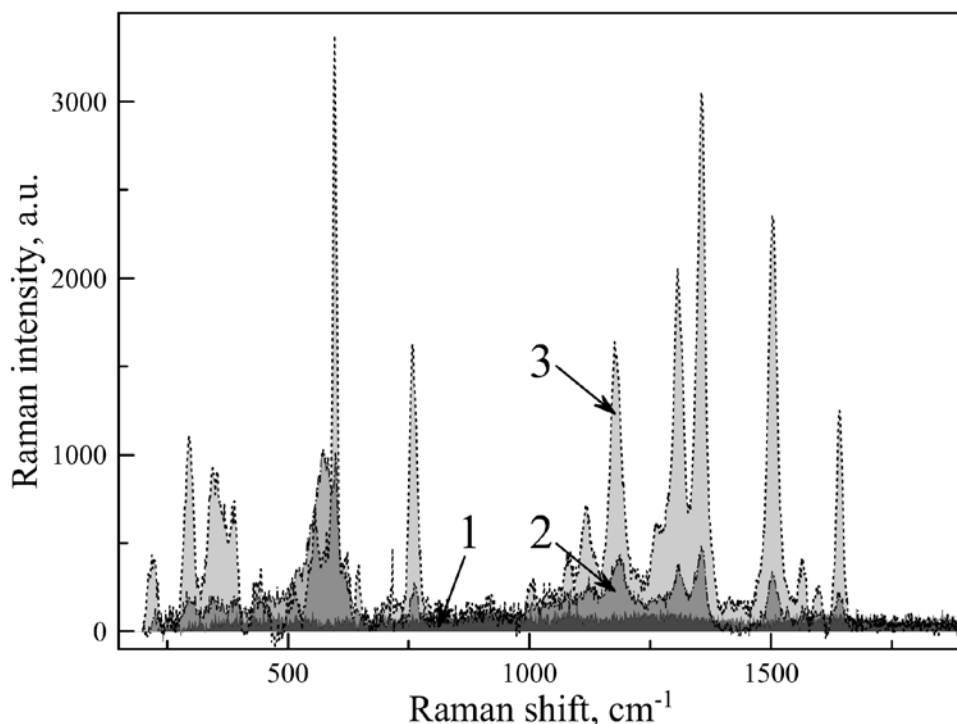


Рис. 2 – Спектры гигантского комбинационного рассеяния света родамина 6Ж:  
1) адсорбированного на поверхность кварцевого стекла без наночастиц; 2) на поверхность серебряных наночастиц размером 44 нм, адсорбированных одним слоем на кварцевое стекло 3) на поверхность серебряных наночастиц размером 44 нм, адсорбированных тремя слоями на поверхность кварцевого стекла



В дальнейшем по формуле 3 было рассчитано эффективное усиление гигантского комбинационного рассеяния света:

$$SE = \frac{I_{sers}}{I_{rs}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{sers}} \quad (3)$$

Где  $I_{SERS}$  – спектральная интенсивность ГКРС,  $I_{RS}$  – спектральная интенсивность КРС,  $C_{RS}$  – концентрация красителя родамина 6Ж в случае эксперимента КРС,  $C_{SERS}$  – концентрация красителя родамина 6Ж в случае эксперимента ГКРС,  $SE$  – достигаемый порядок усиления сигнала КРС.

Установлено (см. Рис. 3), что при нанесении трех слоев гидрозоля серебра, увеличение комбинационного рассеяния света достигает 266 раз. При использовании одного слоя серебра рассеяние достигает 80 раз. Без нанесения гидрозоля серебра на кварцевую подложку увеличения рассеяния не наблюдается (см. Таблицу 1). Данные результаты в полной мере соответствуют [11].

Таблица 1 – Полученные параметры усиления ГКРС для модифицированных наночастицами серебра кварцевых стекол

№ п/п	Количество слоев	$I_{SERS}$ , отн. ед.	$I_{RS}$ , отн. ед.	$C_{RS}$ , М	$C_{SERS}$ , М	$SE$
1	3	1860	7	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	266
2	1	482	6	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	80
3	0	4	4	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	-

### Заключение

В данной работе приводятся результаты изучения действия поверхностных плазмонов на сигнал комбинационного рассеяния света от молекул красителя родамина 6Ж. Предложен простой метод получения ГКРС сигнала от модифицированных гидрозолями серебряных наночастиц размером 44 нм кварцевых поверхностей. Показано, что усиление сигнала комбинационного рассеяния света поверхностными плазмонами наночастиц серебра для молекул красителя родамина 6Ж может достигать увеличения на 2 порядка. Результаты данной работы могут быть использованы при создании средств усиления сигнала КР и детекции широкого круга объектов, в том числе сложных биологических структур.

### Финансирование

Исследование было выполнено в рамках гранта Президента РФ для поддержки молодых кандидатов наук (проект № МК-1056.2019.2).

### Конфликт интересов

Не указан.

### Funding

The study was carried out as part of a grant from the President of the Russian Federation to support young candidates of science (project No. MK-1056.2019.2).

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

- Alexander T. A. Characterization of a commercialized SERS-active substrate and its application to the identification of intact *Bacillus endospores* / Alexander T. A., Le D. M. // *Applied optics*. – 2007. – Vol. 46. – №. 18. – P. 3878-3890.
- Demirel M. C. Bio-organism sensing via surface enhanced Raman spectroscopy on controlled metal/polymer nanostructured substrates / Demirel M. C. // *Biointerphases*. – 2009. – Vol. 4. – №. 2. – P. 35-41
- Kneipp K. Detection and identification of a single DNA base molecule using surface-enhanced Raman scattering (SERS) / Kneipp K. // *Physical Review E*. – 1998. – Vol. 57. – №. 6. – P. R6281
- Lin M. Detection of melamine in gluten, chicken feed, and processed foods using surface enhanced Raman spectroscopy and HPLC / Lin M. // *Journal of food science*. – 2008. – Vol. 73. – №. 8
- Sharma B. SERS: materials, applications, and the future / Sharma B. // *Materials today*. – 2012. – Vol. 15. – №. 1. – P. 16-25
- Stokes R. J. Surface-enhanced Raman scattering spectroscopy as a sensitive and selective technique for the detection of folic acid in water and human serum / Stokes R. // *Applied spectroscopy*. – 2008. – Vol. 62. – №. 4. – P. 371-376
- Cao Y. W. C. Nanoparticles with Raman spectroscopic fingerprints for DNA and RNA detection / Cao Y. W. C., Jin R., Mirkin C. A. // *Science*. – 2002. – Vol. 297. – №. 5586. – P. 1536-1540.
- Yang Y. Y. High-harmonic and single attosecond pulse generation using plasmonic field enhancement in ordered arrays of gold nanoparticles with chirped laser pulses / Yang Y. Y. // *Optics Express*. – 2013. – Vol. 21. – №. 2. – P. 2195-2205.
- Atkins C. G. Raman spectroscopy of blood and blood components / Atkins C. G. // *Applied spectroscopy*. – 2017. – Vol. 71. – №. 5. – P. 767-793.
- Hering K. SERS: a versatile tool in chemical and biochemical diagnostics / Hering K. // *Analytical and bioanalytical chemistry*. – 2008. – Vol. 390. – №. 1. – P. 113-124.
- Wei W. Cellophane paper-based surface-enhanced Raman scattering (SERS) substrates for detecting Rhodamine 6G in water and chili powder / Wei W. // *Vibrational Spectroscopy*. – 2019. – Vol. 102. – P. 52-56.
- Брюханов В. В. Взаимодействие поверхностных плазмонов наночастиц серебра на силикохроме и шероховатых пленках серебра с электронно-возбужденными адсорбатами молекул родамина 6Ж / Брюханов В. В. // *Известия КГТУ*. – 2011. – №. 23. – С. 11-17.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Alexander T. A. Characterization of a commercialized SERS-active substrate and its application to the identification of intact *Bacillus endospores* / Alexander T. A., Le D. M. // *Applied optics*. – 2007. – Vol. 46. – №. 18. – P. 3878-3890.
2. Demirel M. C. Bio-organism sensing via surface enhanced Raman spectroscopy on controlled metal/polymer nanostructured substrates / Demirel M. C. // *Biointerphases*. – 2009. – Vol. 4. – №. 2. – P. 35-41
3. Kneipp K. Detection and identification of a single DNA base molecule using surface-enhanced Raman scattering (SERS) / Kneipp K. // *Physical Review E*. – 1998. – Vol. 57. – №. 6. – P. R6281
4. Lin M. Detection of melamine in gluten, chicken feed, and processed foods using surface enhanced Raman spectroscopy and HPLC / Lin M. // *Journal of food science*. – 2008. – Vol. 73. – №. 8
5. Sharma B. SERS: materials, applications, and the future / Sharma B. // *Materials today*. – 2012. – Vol. 15. – №. 1. – P. 16-25
6. Stokes R. J. Surface-enhanced Raman scattering spectroscopy as a sensitive and selective technique for the detection of folic acid in water and human serum / Stokes R. // *Applied spectroscopy*. – 2008. – Vol. 62. – №. 4. – P. 371-376
7. Cao Y. W. C. Nanoparticles with Raman spectroscopic fingerprints for DNA and RNA detection / Cao Y. W. C., Jin R., Mirkin C. A. // *Science*. – 2002. – Vol. 297. – №. 5586. – P. 1536-1540.
8. Yang Y. Y. High-harmonic and single attosecond pulse generation using plasmonic field enhancement in ordered arrays of gold nanoparticles with chirped laser pulses / Yang Y. Y. // *Optics Express*. – 2013. – Vol. 21. – №. 2. – P. 2195-2205.
9. Atkins C. G. Raman spectroscopy of blood and blood components / Atkins C. G. // *Applied spectroscopy*. – 2017. – Vol. 71. – №. 5. – P. 767-793.
10. Hering K. SERS: a versatile tool in chemical and biochemical diagnostics / Hering K. // *Analytical and bioanalytical chemistry*. – 2008. – Vol. 390. – №. 1. – P. 113-124.
11. Wei W. Cellophane paper-based surface-enhanced Raman scattering (SERS) substrates for detecting Rhodamine 6G in water and chili powder / Wei W. // *Vibrational Spectroscopy*. – 2019. – Vol. 102. – P. 52-56.
12. Bryuhanov V. V. Vzaimodejstvie poverhnostnyh plazmonov nanochastich serebra na silohrome i sherohovatykh plenках serebra s elektronno-vozbuzhdennymi adsorbatami molekul rodamina 6ZH [Interaction of surface plasmons of silver nanoparticles on silochrome and rough silver films with electronically excited adsorbates of rhodamine 6G molecules] / Bryuhanov V. V. // *Izvestiya KGTU*. – 2011. – №. 23. – P. 11-17. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.002>**МАТРИЧНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ В АЛГЕБРЕ ЛОГИКИ**

Научная статья

**Сдвижков О.А.<sup>1,\*</sup>, Мацнев Н.П.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Российский государственный университет туризма и сервиса, Пушкино, Россия;<sup>2</sup> Технологический университет, Королев, Россия

\* Корреспондирующий автор (oasdv[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Применяя операцию сложения по модулю два, в алгебре логики определяются фундаментальные понятия матричного исчисления, такие как линейно зависимые и независимые совокупности строк (столбцов) матрицы, ранг матрицы, сумма и произведение матриц, определитель матрицы, обратная матрица. Приводятся свойства определителей алгебры логики. С помощью обратных матриц алгебры логики решаются системы линейных уравнений с суммами по модулю два. Приведены примеры на вычисление в алгебре логики ранга матрицы, определителей, обратных матриц и решение систем линейных уравнений с суммами по модулю два.

**Ключевые слова:** бинарная матрица, сумма по модулю два, определитель, обратная матрица, ранг матрицы, система уравнений.

**MATRIX CALCULATION IN LOGIC ALGEBRA**

Research article

**Sdvizhkov O.A.<sup>1,\*</sup>, Matsnev N.P.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Russian State University of Tourism and Service, Pushkino, Russia;<sup>2</sup> University of Technology, Korolev, Russia

\* Corresponding author (oasdv[at]yandex.ru)

**Abstract**

Using the modulo two addition operation, the fundamental concepts of matrix calculus are defined in the logic algebra, such as linearly dependent and independent sets of rows (columns) of a matrix, matrix rank, sum and product of matrices, matrix determinant, inverse matrix. The properties of the determinants of the logic algebra are given. Using inverse matrices of the logic algebra, systems of linear equations with modulo two sums are solved. Examples are given for calculating the rank of a matrix, determinants, inverse matrices and solving systems of linear equations with modulo two sums in the logic algebra.

**Keywords:** binary matrix, modulo two sum, determinant, inverse matrix, matrix rank, system of equations.

**Введение**

Алгебра логики, в широком смысле, которого придерживаются авторы, это раздел математики, построенный на множестве  $E_2 = \{0, 1\}$ .

Некоторые проблемы алгебры логики рассматривались одним из авторов в работах [6], [7], [8], данная статья посвящена формулам алгебры логики, позволяющим выполнять матричные операции.

Фундаментальные формулы матричного исчисления [2], [3], [5] во множестве матриц алгебры логики не имеют смысла, так как в алгебре логики нет операций  $+$ ,  $-$  и так далее, применяемых в этих формулах, как и других чисел кроме 0 и 1.

В статье показывается, что, применяя сложение по модулю два, формулы матричного исчисления можно заменить формулами алгебры логики, корректно выполняющими матричные операции.

**§1. Простейшие операции с булевыми матрицами**

Пусть задана матрица  $A = (a_{ij}), i=1,2,...,m; j=1,2,...,n, a_{ij} \in E_2$ . Такая матрица называется булевой (бинарной, двоичной, матрицей алгебры логики).

Матрицу  $\bar{A} = (\bar{a}_{ij})$ , где  $\bar{a}_{ij}$  – бинарное число, противоположное числу  $a_{ij}$ , естественно назвать противоположной матрице  $A$ .

Произведение матрицы  $A$  на константу  $\alpha \in E_2$  определяется обычным образом:

$$\alpha \cdot A = (\alpha \cdot a_{ij})$$

Под суммой матриц  $A$  и  $B$  вида  $m \times n$  в алгебре логики, естественно, понимать матрицу  $C = A \oplus B$ , элементы которой находятся по формуле:

$$c_{ij} = a_{ij} \oplus b_{ij}$$

Назовем булевым (бинарным) произведением матрицы  $A = (a_{ik}), a_{ik} \in E_2$ , вида  $m \times r$  на матрицу  $B = (b_{kj}), b_{kj} \in E_2$ , вида  $r \times n$  такую матрицу  $C$  вида  $m \times n$ , обозначаемую  $A \cdot B \bmod 2$ , элементы которой находятся по формуле:

$$c_{ij} = a_{i1}b_{1j} \oplus a_{i2}b_{2j} \oplus \dots \oplus a_{ip}b_{pj}$$

Пример:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \bmod 2 = \begin{pmatrix} 1 \cdot 1 \oplus 0 \cdot 0 & 1 \cdot 1 \oplus 0 \cdot 1 \\ 1 \cdot 1 \oplus 1 \cdot 0 & 1 \cdot 1 \oplus 1 \cdot 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Столбец  $j$  матрицы  $A$  назовем бинарной линейной комбинацией столбцов  $j_1, j_2, \dots, j_r$ , если:

$$\alpha_{j_1} \begin{pmatrix} a_{1j_1} \\ a_{2j_1} \\ \vdots \\ a_{mj_1} \end{pmatrix} \oplus \alpha_{j_2} \begin{pmatrix} a_{1j_2} \\ a_{2j_2} \\ \vdots \\ a_{mj_2} \end{pmatrix} \oplus \dots \oplus \alpha_{j_r} \begin{pmatrix} a_{1j_r} \\ a_{2j_r} \\ \vdots \\ a_{mj_r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{1j} \\ a_{2j} \\ \vdots \\ a_{mj} \end{pmatrix},$$

где все коэффициенты принимают значения из множества  $E_2$ .

Столбцы  $j_1, j_2, \dots, j_r$  назовем бинарно линейно независимыми, если

$$\alpha_{j_1} \begin{pmatrix} a_{1j_1} \\ a_{2j_1} \\ \vdots \\ a_{mj_1} \end{pmatrix} \oplus \alpha_{j_2} \begin{pmatrix} a_{1j_2} \\ a_{2j_2} \\ \vdots \\ a_{mj_2} \end{pmatrix} \oplus \dots \oplus \alpha_{j_r} \begin{pmatrix} a_{1j_r} \\ a_{2j_r} \\ \vdots \\ a_{mj_r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

выполняется только при  $\alpha_{j_1} = \alpha_{j_2} = \dots = \alpha_{j_r} = 0$ . В противном случае, столбцы – бинарно линейно зависимые.

Бинарно линейно независимые столбцы  $j_1, j_2, \dots, j_r$  назовем сильно независимыми, если:

$$\begin{pmatrix} a_{1j_1} \\ a_{2j_1} \\ \vdots \\ a_{mj_1} \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} a_{1j_2} \\ a_{2j_2} \\ \vdots \\ a_{mj_2} \end{pmatrix} \oplus \dots \oplus \begin{pmatrix} a_{1j_r} \\ a_{2j_r} \\ \vdots \\ a_{mj_r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

Пусть столбцы  $j_1, j_2, \dots, j_r$  бинарно линейно зависимые, причем, например,  $\alpha_{j_r} = 1$ . Тогда можно записать:

$$\alpha_{j_1} \begin{pmatrix} a_{1j_1} \\ a_{2j_1} \\ \vdots \\ a_{mj_1} \end{pmatrix} \oplus \alpha_{j_2} \begin{pmatrix} a_{1j_2} \\ a_{2j_2} \\ \vdots \\ a_{mj_2} \end{pmatrix} \oplus \dots \oplus \begin{pmatrix} a_{1j_r} \\ a_{2j_r} \\ \vdots \\ a_{mj_r} \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} a_{1j_r} \\ a_{2j_r} \\ \vdots \\ a_{mj_r} \end{pmatrix}$$

Откуда следует, что столбец  $j_r$  является бинарной линейной комбинацией остальных столбцов:

$$\alpha_{j_1} \begin{pmatrix} a_{1j_1} \\ a_{2j_1} \\ \vdots \\ a_{mj_1} \end{pmatrix} \oplus \alpha_{j_2} \begin{pmatrix} a_{1j_2} \\ a_{2j_2} \\ \vdots \\ a_{mj_2} \end{pmatrix} \oplus \dots \oplus \alpha_{j_{r-1}} \begin{pmatrix} a_{1j_{r-1}} \\ a_{2j_{r-1}} \\ \vdots \\ a_{mj_{r-1}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{1j_r} \\ a_{2j_r} \\ \vdots \\ a_{mj_r} \end{pmatrix}$$

Пусть столбцы  $j_1, j_2, \dots, j_r$  сильно независимые. Тогда можно записать:

$$\begin{pmatrix} a_{1j_1} \\ a_{2j_1} \\ \vdots \\ a_{mj_1} \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} a_{1j_2} \\ a_{2j_2} \\ \vdots \\ a_{mj_2} \end{pmatrix} \oplus \dots \oplus \begin{pmatrix} a_{1j_r} \\ a_{2j_r} \\ \vdots \\ a_{mj_r} \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} \oplus \begin{pmatrix} a_{1j_r} \\ a_{2j_r} \\ \vdots \\ a_{mj_r} \end{pmatrix}$$

Откуда следует, что столбец противоположный столбцу  $j_r$ , как и любому другому столбцу, является бинарной линейной комбинацией остальных столбцов:

$$\alpha_{j_1} \begin{pmatrix} a_{1j_1} \\ a_{2j_1} \\ \vdots \\ a_{mj_1} \end{pmatrix} \oplus \alpha_{j_2} \begin{pmatrix} a_{1j_2} \\ a_{2j_2} \\ \vdots \\ a_{mj_2} \end{pmatrix} \oplus \dots \oplus \alpha_{j_{r-1}} \begin{pmatrix} a_{1j_{r-1}} \\ a_{2j_{r-1}} \\ \vdots \\ a_{mj_{r-1}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{a}_{1j_r} \\ \bar{a}_{2j_r} \\ \vdots \\ \bar{a}_{mj_r} \end{pmatrix}$$

Понятно, что аналогичные определения и рассуждения имеют место и для строк матрицы  $A$ .

Назовем булевым рангом матрицы  $A$ , обозначим его  $\text{rang}^*(A)$ , максимальное число бинарно линейно независимых столбцов (строк) матрицы  $A$ .

## §2. Булевы определители и их свойства

Назовем булевым (бинарным) определителем квадратной матрицы  $n$ -го порядка  $A = (a_{ij})$ ,  $a_{ij} \in E_2$ , величину

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}^* = \bigoplus_{(j_1, \dots, j_n)} a_{1j_1} \cdot a_{2j_2} \cdot \dots \cdot a_{nj_n},$$

где суммирование по модулю 2 выполняется по всем попарно различным значениям индексов  $j_1, j_2, \dots, j_n$ . Звездочка справа показывает, что величина определителя рассчитывается по формуле, отличной от применяемой во множестве  $R$ . Этот определитель будем обозначать также  $|A|^*$  или  $\Delta^*$ .

В силу данного определения, разложение определителя  $|A|^*$  по  $i$ -й строке имеет вид

$$|A|^* = \bigoplus_{j=1}^n a_{ij} \cdot M_{ij},$$

а разложение по  $j$ -му столбцу записывается в виде

$$|A|^* = \bigoplus_{i=1}^n a_{ij} \cdot M_{ij},$$

$M_{ij}$  – бинарный определитель матрицы, получаемой вычеркиванием  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца из матрицы  $A$ .  
Примеры:

1.

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}^* = 1 \cdot 0 \oplus 1 \cdot 1 = 1$$

2.

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}^* = 1 \cdot \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* \oplus 1 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}^* \oplus 1 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}^* = (0 \oplus 1) \oplus (1 \oplus 0) \oplus (1 \oplus 0) = 1$$

3.

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}^* = 1 \cdot \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* \oplus 1 \cdot \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* \oplus 0 = (0 \oplus 1) \oplus (1 \oplus 1) = 1$$

Из приведенных формул вытекают свойства бинарных определителей.

1. Свойства бинарных определителей, верные для строк, справедливы и для столбцов.
2. При перестановке местами строк величина бинарного определителя не изменяется.
3. Если в матрице  $A$  есть нулевая строка или равные строки, то ее бинарный определитель равен нулю.
4. Если в матрице  $A$  элементы какой-либо строки являются суммами по модулю 2 двух слагаемых, то бинарный определитель матрицы  $A$  равен сумме по модулю 2 двух бинарных определителей.
5. Если в матрице  $A$  какая-либо строка является бинарной линейной комбинацией некоторых других строк, то бинарный определитель матрицы  $A$  равен нулю.
6. Если к какой-либо строке матрицы  $A$  прибавить по модулю 2 бинарную линейную комбинацию некоторых других строк, то бинарный определитель матрицы  $A$  не изменится.
7. Двоичная сумма произведений элементов какой-либо строки на дополнительные бинарные миноры элементов другой строки равна нулю:

$$\bigoplus_{j=1}^n a_{ij} \cdot M_{kj} = 0, \quad i \neq k$$

Следует заметить, в силу свойств 2 и 6, ранг матрицы  $\text{rang}^*(A)$  можно найти, переставляя строки и прибавляя по модулю 2 к элементам одной строки матрицы  $A$  элементы другой строки, чтобы ниже главной диагонали оказались нули. Например:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\text{rang}^*(A) = 4$$

**Теорема 1.** Пусть  $\Delta$  – определитель бинарной матрицы  $A$  во множестве  $R$ ,  $|\Delta|$  – абсолютная величина определителя  $\Delta$ ,  $|\Delta| \bmod 2$  – остаток от деления  $|\Delta|$  на 2. Тогда:

$$|\Delta| \bmod 2 = \Delta^*$$

**Следствие 1.** Если  $\Delta = 0$ , то  $\Delta^* = 0$ , а если  $\Delta^* \neq 0$ , то  $\Delta \neq 0$ .

**Следствие 2.** Справедлива оценка:  $\text{rang}^*(A) \leq \text{rang}(A)$ ,  $\text{rang}(A)$  – ранг матрицы  $A$  во множестве  $R$ .

### §3. Обратная матрица по булевому произведению

Назовем матрицу  $B = (b_{ij})$ ,  $b_{ij} \in E_2$ , обратной по булевому произведению для матрицы  $A = (a_{ij})$ ,  $a_{ij} \in E_2$ , и будем обозначать ее  $A_*^{-1}$ , если  $A * B \bmod 2 = E$ ,  $E$  – единичная матрица.

В силу свойства 7 определителей и формулы разложения бинарного определителя по  $i$ -й строке, справедлива следующая теорема.

**Теорема 2.** Если бинарный определитель бинарной матрицы  $A$  равен 1, то матрица  $A$  имеет единственную обратную по булевому произведению матрицу  $B = A_*^{-1}$ , элементы которой находятся по формуле:

$$b_{ij} = M_{ji}$$

Примеры:

1.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \Delta^* = 1 \Rightarrow A_*^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Проверка:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \bmod 2 = \begin{pmatrix} 0 \oplus 1 & 1 \oplus 1 \\ 0 \oplus 0 & 1 \oplus 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

2.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow \Delta^* = 1 \Rightarrow A_*^{-1} = \begin{pmatrix} \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* & \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* & \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* \\ \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* & \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* & \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* \\ \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}^* & \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}^* & \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Проверка:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \bmod 2 = \begin{pmatrix} 1 \oplus 1 \oplus 1 & 0 \oplus 1 \oplus 1 & 1 \oplus 0 \oplus 1 \\ 1 \oplus 0 \oplus 1 & 0 \oplus 0 \oplus 1 & 1 \oplus 0 \oplus 1 \\ 0 \oplus 1 \oplus 1 & 0 \oplus 1 \oplus 1 & 0 \oplus 0 \oplus 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

3.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow \Delta^* = 1 \Rightarrow A_*^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Проверка:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \bmod 2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

#### §4. Системы линейных уравнений с суммами по модулю 2

Рассмотрим систему линейных уравнений с суммами по модулю 2:

[illegible]

В силу теоремы 2, справедлива следующая теорема.

**Теорема 3.** Если определитель  $\Delta^*$  матрицы  $A$  системы линейных уравнений с суммами по модулю 2 равен 1, то система имеет единственное решение, которое находится по формуле:

$$X = A_*^{-1} \cdot B \pmod{2}$$

Пример:

$$\begin{cases} x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 = 0 \\ x_1 \oplus x_3 = 1 \\ x_2 \oplus x_3 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

### Замечание

Обратная по булевому произведению матрица к матрице системы этого примера найдена в предыдущем параграфе.

С помощью теоремы 3 доказывается следующая теорема.

**Теорема 4.** Если бинарный определитель матрицы системы линейных уравнений с суммами по модулю 2 равен 1, то система имеет единственное решение, которое находится по формулам, аналогичным формулам Крамера:

$$x_i = \Delta_{x_i}^*$$

Для последней системы эти формулы дают:

$$\begin{aligned} x_1 &= \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}^* = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* \oplus \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* = 1 \\ x_2 &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}^* = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* \oplus \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}^* = 1 \\ x_3 &= \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}^* = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}^* \oplus \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}^* = 0 \end{aligned}$$

## Заключение

В статье впервые приводятся, и иллюстрируются на примерах, основные формулы матричного исчисления в алгебре логики, включая формулы решения систем линейных уравнений с суммами по модулю 2.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Гаврилов Г.П. Задачи и упражнения по дискретной математике: Учебное пособие – 3-е изд., перераб. / Г.П. Гаврилов, А.А. Сапоженко – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 416 с.
2. Андре Анго. Математика для электро- и радиоинженеров / Анго Андре – М.: Издательство «Наука», 1967. – 780 с.
3. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры / Д.В. Беклемишев – М.: Издательство «Наука», 1976. – 320 с.
4. Ерусалимский Я. М. Дискретная математика: теория, задачи, приложения. 3-е издание. / Я. М. Ерусалимский – М.: Вузовская книга, 2000. – 280 с.
5. Корн Г. Справочник по математике. / Г. Корн, Т. Корн – М.: Издательство «Наука», 1973. – 832 с.
6. Сдвижков О. А. Дискретная математика и математические методы экономики с применением VBA Excel / О. А. Сдвижков – М.: ДМК Пресс, 2012. – 212 с.
7. Сдвижков О. А. Характеристические полиномы булевых функций / Сдвижков О. А. // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №9-3 (63). С. 96-102
8. Сдвижков О. А. Применение линейного программирования к задачам алгебры логики / Сдвижков О. А. // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №10-3 (64). С. 116 – 122
9. Супрун В.П. Основы теории булевых функций / В.П. Супрун – М.: ЛЕНАНД, 2017. – 208 с.
10. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику: Учебное пособие для вузов / Яблонский С.В., В.А. Садовниченко. – 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 384 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Gavrilov G.P. Zadachi i uprazhneniya po diskretnoj matematike: Uchebnoe posobie - 3-e ed., pererab. [Tasks and exercises on discrete mathematics] / G.P. Gavrilov, A.A. Sapozhenko – M.: FIZMATLIT, 2003. – 416 p. [in Russian]
2. Andre Ango. Matematika dlya jelektro- i radioinzhenerov [Mathematics for elektro- and radioengineers] / Ango Andre – M.: "Science", 1967. – 780 p. [in Russian]
3. Beklemishev D.V. Kurs analiticheskoy geometrii i linejnoy algebry [Rate of analytical geometry and linear algebra] / D.V. Beklemishev – M.: "Science", 1976. – 320 p. [in Russian]
4. Erusalimskij Ya. M. Diskretnaya matematika: teoriya, zadachi, prilozheniya. 3-e ed. [Discrete mathematics: the theory, task, appendix] / Ya. M. Erusalimskij – M.: high school book, 2000. – 280 p. [in Russian]
5. Korn G. Spravochnik po matemamike [Mathematical handbook] / G. Korn, T. Korn – M.: "Science", 1973. – 832 p. [in Russian]
6. Sdvizhkov O.A. Diskretnaja matematika i matematicheskie metody jekonomiki s primeneniem VBA Excel [Discrete mathematics and mathematical methods of economy with application VBA Excel] / O.A. Sdvizhkov – M.: DМК Press, 2012. – 212 p. [in Russian]
7. Sdvizhkov O. A. Kharakteristicheskie polinomy bulevykh funktsij [Characteristic polynomials of Boolean functions] / Sdvizhkov O. A. // the International research magazine. 2017. № 9-3 (63). p. 96-102 [in Russian]
8. Sdvizhkov O. A. Primenenie linejnogo programmirovaniya k zadacham algebry logiki [Application of linear programming to tasks of algebra of logic] / Sdvizhkov O. A. // the International research magazine. 2017. № 10-3 (64). p. 116 – 122 [in Russian]
9. Suprun V.P. Osnovy teorii bulevykh funktsij [Bases of the theory of Boolean functions] / V.P. Suprun – M.: LENAND, 2017. – 208 p. [in Russian]
10. Yablonskij S.V. Vvedenie v diskretnuyu matematiku: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Introduction in discrete mathematics: the manual for high schools] / Yablonskij S.V., V.A. Sadovnichego – M.: "High school", 2003. – 384 p. [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.003>**О ДИФФУЗИИ В РЕШЕТОЧНОМ ГАЗЕ ПРИ БОЛЬШИХ ГРАДИЕНТАХ КОНЦЕНТРАЦИЙ**

Научная статья

**Трошчиев Ю.В. \***

ORCID: 0000-0001-6805-7001,

Московский Государственный Университет, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (yuvt[at]yandex.ru)

**Аннотация**

В работе выводятся из уравнений химической кинетики удобные для исследования выражения для потоков и коэффициентов диффузии в неидеальном решеточном газе. Коэффициенты являются линейными операторами, зависящими от концентраций и их градиентов. Показано, что направление потока может составлять любые углы с направлением градиента.

**Ключевые слова:** решеточный газ, коэффициенты диффузии, уравнения химической кинетики.

**ON DIFFUSION IN LATTICE GAS FOR LARGE CONCENTRATION GRADIENTS**

Research article

**Troshchiev Yu.V. \***

ORCID: 0000-0001-6805-7001,

Moscow State University, Moscow, Russia

\* Corresponding author (yuvt[at]yandex.ru)

**Abstract**

The article derives expressions for flows and diffusion coefficients in an imperfect lattice gas from equations of chemical kinetics convenient for study. Coefficients are linear operators depending on concentrations and their gradients. It is shown that the flow direction can build any angle with the direction of the gradient.

**Keywords:** lattice gas, diffusion coefficients, chemical kinetics equations.

**Введение**

Диффузия во многих системах является одним из фундаментальных процессов, определяющих поведение этих систем, а диффузионный подход позволяет изучать эти системы на уровне сплошной среды. Однако классическая диффузия, для которой поток пропорционален градиенту концентрации с некоторым постоянным коэффициентом, не всегда соответствует действительности. В таких случаях диффузионный подход нуждается в модификациях [4], или становится неприменимым.

Наиболее точным способом вычисления более сложных коэффициентов диффузии является использование кинетических уравнений (при условии достаточной точности коэффициентов в самих кинетических уравнениях). Примерами применения такой методики являются вывод коэффициентов диффузии в [2] и кинетически согласованные разностные схемы [4].

Одной из систем, в которых классический диффузионный подход неприменим, является неидеальный решеточный газ [5], [6], [7]. В этих работах, в частности, проводилось исследование зависимости коэффициентов диффузии в решеточном газе от концентраций веществ. Эти зависимости являются существенно непостоянными и нелинейными. В моделях решеточного газа при выводе коэффициентов диффузии обычно делается предположение о малости градиентов концентраций [6].

Однако градиенты концентраций не всегда можно считать малыми. В [8] автором выведены выражения для потока мигрирующих частиц и для коэффициентов диффузии без предположения о малости градиентов. За основу взяты уравнения химической кинетики [5], [6], [7]. В [8] учитывается также несовпадение направлений градиентов и потоков, т.е. полученные коэффициенты диффузии являются матричными и зависят от концентраций адсорбированных веществ и от их градиентов. В [9], [10], [11] проводилось исследование в приближении среднего поля и квазихимическом (см. [5], [6]). Исследуем полученные коэффициенты в этих приближениях более подробно.

**Диффузия в решеточном газе**

Неидеальный решеточный газ представляет собой систему взаимодействующих частиц, которые могут находиться в узлах регулярной пространственной решетки. Решеточный газ может быть двумерным (например, слой адсорбата на поверхности монокристалла) или трехмерным (например, газ, адсорбированный твердым телом).

Состояние решеточного газа задается числами заполнения  $n_i$ , где  $i$  – индекс узла решетки. Значение  $n_i$  равно номеру химической компоненты, которой занят узел (0 – для свободного узла). Числа заполнения изменяются за счет происходящих по определенным статистическим законам прыжков частиц в соседние узлы, обменов с газовой фазой и реакций между частицами, находящимися в соседних узлах.

Описание решеточного газа как сплошной среды осуществляется с помощью уравнений реакции-диффузии [7]:

$$\frac{\partial u_n}{\partial t} = -\text{div}(I_n) + R_n(u_1, \dots, u_N), \quad n = 1, \dots, N \quad (1)$$

где  $N$  – число компонент,  $u_n(\mathbf{x}, t)$  – плотность  $n$ -й компоненты, функция  $R_n()$  описывает обмен с газовой фазой и химические реакции. Поток  $I_n$  определяется в соответствии с законом Фика:

$$I_n = - \sum_{m=1}^N D_{nm} \text{grad}(u_m), \quad n = 1, \dots, N \quad (2)$$

где  $\{D_{nm}\}$  – матрица диффузии.

### Вывод выражений для потока и коэффициентов диффузии

При описании состояния решеточного газа на уровне уравнений химической кинетики используются следующие переменные [5], [6], [12]:  $\theta_i^n$  – вероятность заполнения  $i$ -го узла  $n$ -ой компонентой,  $g_{ij}^{nm}$  – вероятность одновременного заполнения  $i$ -го узла  $n$ -ой компонентой, а  $j$ -го узла  $m$ -ой компонентой для всех пар соседних узлов. Могут рассматриваться и более чем парные вероятности, но в дальнейшем это не учитывается, так как не вносит качественных изменений в схему вывода коэффициентов диффузии. В общем виде уравнения химической кинетики для решеточного газа являются обыкновенными дифференциальными уравнениями и имеют вид [7]

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_i^n}{dt} &= F_i^n(\theta, \mathbf{g}), \\ \frac{dg_{ij}^{nm}}{dt} &= G_{ij}^{nm}(\theta, \mathbf{g}), \end{aligned} \quad (3)$$

где индексы  $i, j, n, m$  пробегают все значения, для которых введены соответствующие переменные. Хотя формально в правые части входят полные векторы  $\theta$  и  $\mathbf{g}$ , реально в число аргументов функций  $F_i^n$  и  $G_{ij}^{nm}$  входят лишь переменные, относящиеся к узлам решетки, находящимся вблизи узлов  $i$  и  $j$ .

Можно предположить, что локальные парные вероятности  $g_{ij}^{nm}$  устанавливаются существенно быстрее, чем происходит процесс переноса массы по поверхности. Поэтому для вывода коэффициентов диффузии можно вместо соответствующего дифференциального уравнения рассматривать уравнение

$$G_{ij}^{nm}(\theta, \mathbf{g}) = 0. \quad (4)$$

Будем считать, что уравнение (4) однозначно разрешимо относительно переменных  $\mathbf{g}$ . Для большинства приближений это так, либо переменные  $\mathbf{g}$  явно выражаются через переменные  $\theta$ . Поэтому определена функция  $\mathbf{g}(\theta)$ . Подстановка этой функции в первое уравнение системы (3) приводит к уравнению относительно плотностей заполнения:

$$\frac{d\theta_i^n}{dt} = \Phi_i^n(\theta). \quad (5)$$

Функция  $\Phi_i^n$  имеет вид

$$\Phi_i^n(\theta) = \sum_{j \in \Pi_1(i)} (V_{ji}^n(\theta) - V_{ij}^n(\theta)) + R_i^n(\theta), \quad (6)$$

где  $\Pi_1(i)$  – множество ближайших соседей узла  $i$ ,  $V_{ij}^n$  и  $V_{ji}^n$  – скорости миграции  $n$ -ой компоненты из узла  $i$  в узел  $j$  и из узла  $j$  в узел  $i$ , соответственно. Функция  $R_i^n$  описывает обмен с газовой фазой и химические реакции; она также представляет собой сумму скоростей элементарных процессов.

Пусть в узле  $i$  заданы концентрации  $\theta_i^n$  и их градиенты  $\text{grad}(\theta_i^n)$ . Тогда с помощью линейной экстраполяции могут быть найдены концентрации в любом узле  $j$  из окрестности этого узла:

$$\theta_j = \theta_i + (\text{grad}(\theta_i), \vec{ij}), \quad (7)$$

где  $\vec{ij}$  – вектор из узла  $i$  в узел  $j$ ;  $(\cdot)$  – скалярное произведение. Подстановка (7) в (6) позволяет выразить  $\Phi_i^n$  через  $\theta_i$  и  $\text{grad}(\theta_i)$ . Выражение для потока может быть получено суммированием всех потоков в узле  $i$ :

$$I_i(\theta_i, \text{grad}(\theta_i)) = \sum_{j \in \Pi_1(i)} (V_{ij} - V_{ji}) \cdot \vec{ij}. \quad (8)$$

Отсюда коэффициенты диффузии могут быть вычислены как производные от потока по градиенту, взятые с обратным знаком:

$$D_i(\theta_i, \text{grad}(\theta_i)) = -\partial I_i / \partial \text{grad}(\theta_i). \quad (9)$$

Выражения (8) и (9) имеют отличия от классического случая (1), (2). Поток (8), в отличие от (2), зависит от градиента нелинейно и, вообще говоря, должен быть непосредственно подставлен в выражение (1). Для того чтобы выяснить качественные отличия между полученным выражением для потока (8) и выражением (2), удобнее рассматривать коэффициенты диффузии (9). В силу (8), выражения (9) зависят не только от концентраций, но и от их градиентов. Более того, коэффициенты диффузии являются линейными операторами, т.е. направление потока может отличаться от направления градиента концентрации даже в случае однокомпонентного газа.

Зависимость коэффициентов диффузии от величины градиента позволяет сделать вывод о том, существенна ли подстановка в уравнение (1) выражения (8), а не произведения коэффициентов диффузии (9) на градиенты концентраций. Существенных отличий от вариантов диффузии, рассмотренных в [6], [7], естественно ожидать при больших градиентах и сильных латеральных взаимодействиях.

Будем считать, что ось абсцисс параллельна линиям решетки. Направление потока, противоположное градиенту, назовем нормальным. Угол между направлением потока и положительным направлением оси абсцисс обозначим  $\beta$ , а угол между нормальным направлением и положительным направлением оси абсцисс –  $\alpha \in [0^\circ, 45^\circ]$ . Угол между положительным направлением оси абсцисс и направлением градиента, соответственно, равен  $\alpha + \pi$ . Угол между направлением градиента и направлением потока  $\gamma = \beta - \alpha \in [-180^\circ, 180^\circ]$ .

Будем рассматривать поток не в узле кристаллической решетки, а в центре ячейки. При этом шаблон, который необходимо учитывать, состоит не из тринадцати точек, а из двенадцати, и он более компактный, что существенно при изучении больших градиентов концентраций (рис. 1). Концентрацию в центре шаблона обозначим  $A_0$ . Четыре узла решетки, находящиеся в углах центральной ячейки этого шаблона, будем называть внутренними. Остальные восемь узлов – внешними. Будем считать, что в центре шаблона находится начало координат.

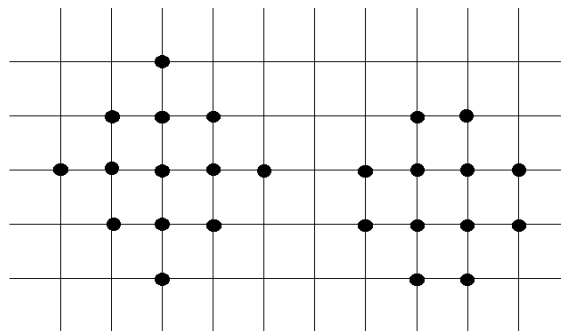


Рис 1 – а) Шаблон для потока в узле кристаллической решетки; б) Шаблон для потока в центре ячейки кристаллической решетки

Будем считать, что  $A_0 = 0.5$ , а величина градиента находится в пределах  $(0, 0.5 / \cos \alpha)$ . В этом случае концентрации во внутренних узлах шаблона изменяются в интервале  $(0,1)$ . В случае большого градиента формула (7) может выдавать выходящие за пределы физически допустимых значения концентрации во внешних узлах (рис. 2). Вероятности, выходящие за пределы интервала  $(0,1)$ , можно, например, заменять на 0 или 1, но такое приближение

не очень точное и не везде дифференцируемое. Другой вариант – заменять значения на максимальные и минимальные концентрации во внутренних точках шаблона. Реальные значения концентраций обычно находятся между этими двумя приближениями. Можно также построить гладкую функцию со значениями, заключенными в этом промежутке. В данной работе используется следующая функция:

$$A_j = x/(1+x), \quad x = \exp\left(\frac{\ln(A_i/(1-A_i))}{(\text{grad}A, \vec{i})}(\text{grad}A, \vec{j})\right), \quad (10)$$

где  $\vec{i}$  – внутренний узел шаблона с максимальной концентрацией.

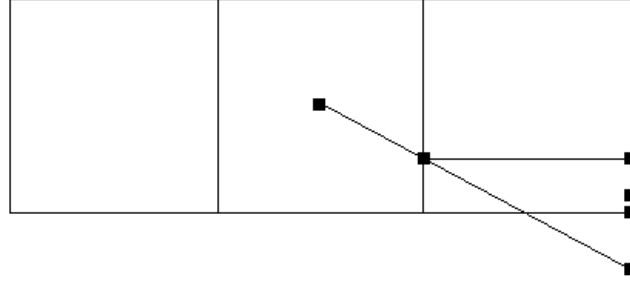


Рис 2 – Варианты вычисления концентрации во внешних узлах

### Совпадение направления градиента и линий решетки

Будем рассматривать квадратную решетку, узлы которой некоторым образом пронумерованы. Пусть слой является однокомпонентным (компонента  $A$ ), и направление градиента концентрации совпадает с направлением линий решетки. В этом случае поток в однокомпонентном слое из узла  $\vec{i}$  в узел  $\vec{j}$  в приближении среднего поля может быть записан следующим образом:

$$V_A(i, j) = K_A A_i \left(1 - A_i - A'_i |\vec{ij}|\right) \exp\left(\frac{-3\varepsilon A_i + \varepsilon A'_i |\vec{ij}|}{T}\right), \quad (11)$$

где  $A_i$  – вероятность заполнения узла  $\vec{i}$ ;  $|\vec{ij}|$  – вектор, соединяющий узел  $\vec{i}$  с узлом  $\vec{j}$ ;  $K_A$  – множитель, учитывающий предэкспоненту и энергию активации;  $\varepsilon$  – параметр латерального взаимодействия;  $T$  – температура. Встречный поток из узла  $\vec{j}$  в узел  $\vec{i}$  равен

$$V_A(j, i) = K_A \left(A_i + A'_i |\vec{ij}|\right) (1 - A_i) \exp\left(\frac{-3\varepsilon A_i - 4\varepsilon A'_i |\vec{ij}|}{T}\right). \quad (12)$$

Суммарный поток между узлами  $\vec{i}$  и  $\vec{j}$  равен разности

$$V_A(i, j) - V_A(j, i). \quad (13)$$

Если пренебречь производными  $A'_i$ , получается точное соответствие с классической диффузией, и коэффициент равен

$$K_A \exp\left(\frac{-3\varepsilon A_i}{T}\right). \quad (14)$$

Множитель  $A'_i |\vec{ij}|$ , которым мы пренебрегли, пропорционален разности концентраций  $A_j - A_i$ . Таким образом, пренебрегать этим множителем можно только в том случае, если

$$|A_j - A_i| \ll A_i. \quad (15)$$

Ясно, что это условие не выполняется, если плотность заполнения заметно меняется на нескольких ( $< 10$ ) шагах решетки (это соответствует границам между различными фазовыми состояниями.).

Условие (15) может также не выполняться, если  $A_i$  достаточно мало, но испытывает достаточно большие относительные изменения от узла к узлу. В этом случае, если считать  $|\varepsilon/T| < 5$  и  $|A_j - A_i| \ll 1$ , то значения экспонент в выражениях (11) и (12) можно считать приблизительно равными единице, а коэффициенты диффузии – равными  $K_A$ . Поэтому условие применимости выражения (14) принимает вид:

$$|A_j - A_i| \ll 1. \quad (16)$$

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента диффузии от величины градиента для различных значений параметров. Излом в точке  $|\text{grad } A| = 1/3$  соответствует достижению в крайних точках шаблона значений концентрации 0 и 1. Этот излом особенно заметен при положительном параметре латерального взаимодействия.

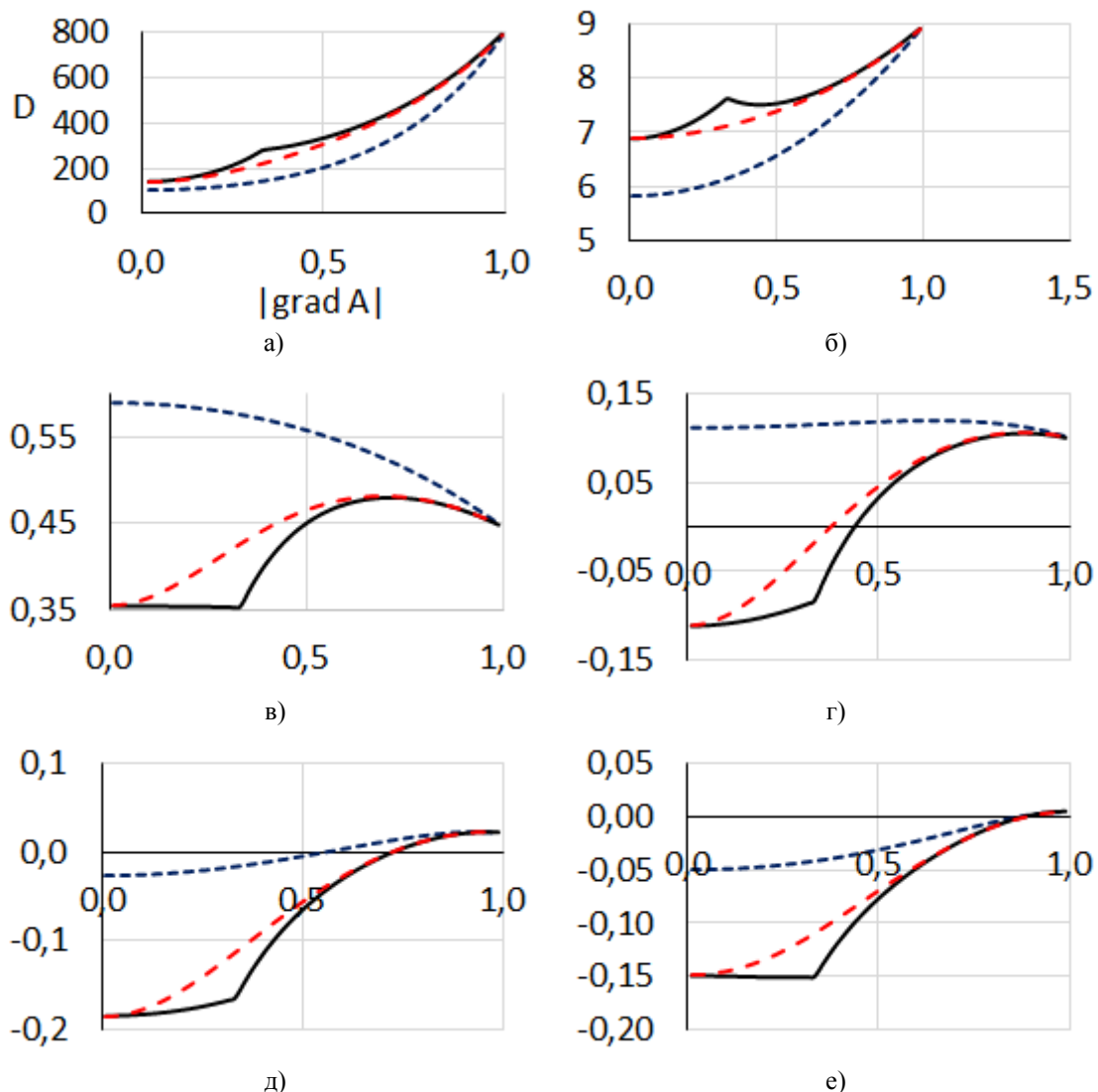


Рис. 3 – Зависимость коэффициента диффузии от величины градиента при совпадении направления градиента и направления линий решетки.  $A_0 = 0.5$ . а)  $\beta\varepsilon = -2$ , б)  $\beta\varepsilon = -0.5$ , в)  $\beta\varepsilon = 0.5$ , г)  $\beta\varepsilon = 1$ , д)  $\beta\varepsilon = 1.5$ , е)  $\beta\varepsilon = 2$

Сплошная линия – 1-й способ вычисления концентраций во внешних узлах, пунктир – второй способ, длинный пунктир – третий способ

Излом в точке  $|\text{grad } A| = 1/3$  происходит в сторону графика, построенного по второму способу вычисления концентраций во внешних узлах шаблона. При  $\beta\varepsilon < 0$  этот способ дает меньшее значение коэффициента диффузии (а,б), а при  $\beta\varepsilon > 0$  – большее (в-е). Отметим также, что при стремлении градиента к нулю значения коэффициента диффузии для рассматриваемых способов вычисления концентраций во внешних узлах шаблона могут значительно различаться.

Коэффициент диффузии может считаться приблизительно постоянным лишь при значениях градиента  $< 0.1$ . При значениях  $> 0.1$ , а особенно при значениях  $\sim 1$ , зависимость коэффициента диффузии от величины градиента очень существенна. Коэффициент диффузии может, как возрастать, так и убывать с ростом величины градиента, однако характерно наличие участка заметного роста коэффициента, означающего что при очень большом градиенте система стремится градиент уменьшить. Это можно видеть из рисунков (г-е), где коэффициент переходит из отрицательной области в положительную. Отрицательное значение коэффициента соответствует тому, что решеточный газ будет собираться в капли. Но если граница капель станет слишком узкой, то она будет “размазываться” диффузией.

#### Отклонение направления градиента от линий решетки

Пусть направление градиента концентрации не совпадает с направлением линий кристаллической решетки, тогда поток определяется выражением:

$$\mathbf{I} = \frac{1}{2} \sum_{\substack{(i,j)=(p,q),(q,r), \\ (r,s),(s,p)}} (V(i,j) - V(j,i)) \vec{ij} = \\ = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} V(p,q) - V(q,p) - V(r,s) + V(s,r) \\ -V(q,r) + V(r,q) + V(s,p) - V(p,s) \end{pmatrix} \quad (17)$$

где  $p, q, r, s$  – номера узлов кристаллической решетки, находящихся в углах рассматриваемой ячейки. Выражения  $V_A(i, j)$  и  $V_A(j, i)$  принимают вид:

$$V_A(i, j) = K_A A_i \left( 1 - A_i - (\text{grad} A_i, \vec{ij}) \right) \exp \left( \frac{-3\varepsilon A_i + \varepsilon (\text{grad} A_i, \vec{ij})}{T} \right), \\ V_A(j, i) = K_A \left( A_i + (\text{grad} A_i, \vec{ij}) \right) (1 - A_i) \exp \left( \frac{-3\varepsilon A_i - 4\varepsilon (\text{grad} A_i, \vec{ij})}{T} \right), \quad (18)$$

где  $\text{grad} A_i$  – градиент концентрации в узле  $i$ . Коэффициент диффузии в этом случае является матричным:

$$\mathbf{D}_i = \frac{\partial \mathbf{I}}{\partial \text{grad} A_i} \quad (19)$$

На рис. 4 приведены графики зависимости величины  $\gamma$  от угла  $\alpha$  для различных значений параметров. Они являются нелинейными и немонотонными. Присутствуют зависимости двух типов. На рис. 3 (а-в) направление потока при  $\alpha = 0$  и при  $\alpha = \pi/4$  совпадает с направлением градиента (коэффициент диффузии, соответственно, отрицателен). В промежутке между этими значениями  $\alpha$  наблюдается отличие угла  $\beta$  от угла  $\alpha + \pi$ . Можно видеть, также, что результаты, получаемые третьим способом вычисления концентраций во внешних узлах могут выходить за пределы, задаваемые первыми двумя способами.

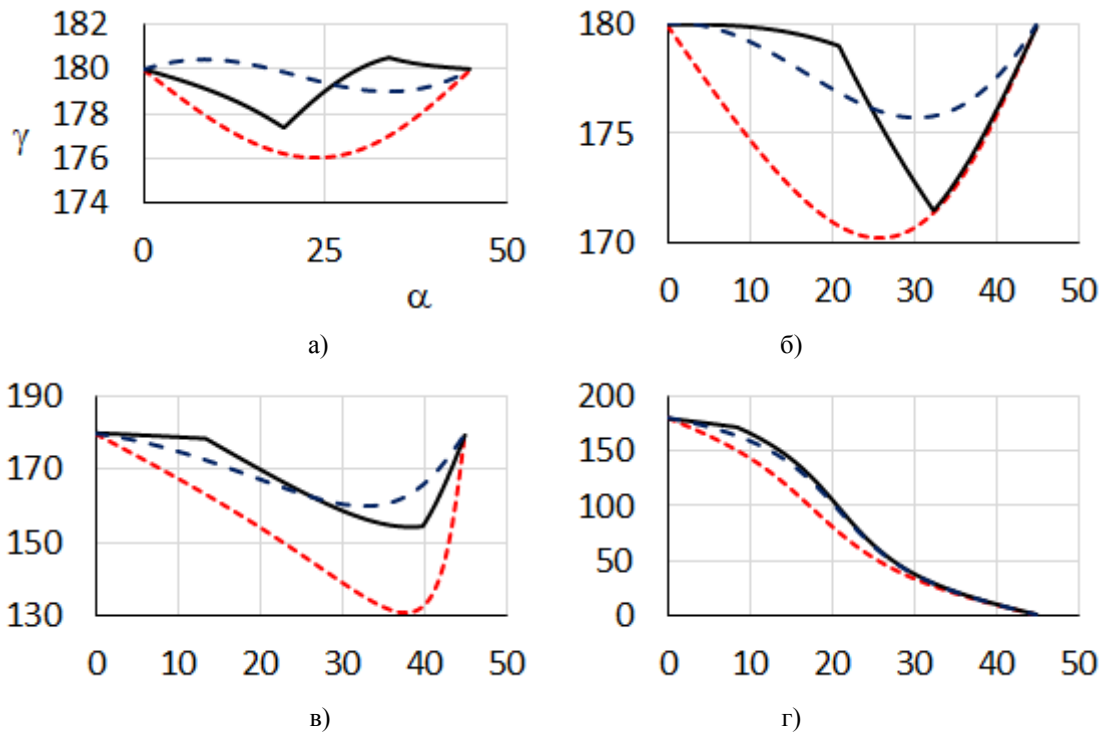


Рис. 4 – Угол между направлением потока и нормальным направлением в зависимости от угла между нормальным направлением и направлением линий решетки.  $A_0 = 0.5$ ,  $\beta\epsilon = 2$ ;

а)  $g = 0.4$ , б)  $g = 0.5$ , в)  $g = 0.6$ , г)  $g = 0.7$

На рис. 4 (г) направление потока изменяется от совпадающего с направлением градиента при  $\alpha = 0$  до нормального при  $\alpha = \pi/4$ . Из этого, в частности, следует возможность ортогонального направления потока по отношению к направлению градиента.

Обсудим это явление более подробно. Заметим, что фактически поток (17) является суммой двух ортогональных потоков. Далее, из формулы (18) следует, что на величину потока в данном направлении влияет лишь проекция градиента на это направление. Таким образом, поток расщепляется на два одномерных потока, каждый из которых подчиняется закону (11)-(13), где производную  $A'$  надо брать в направлении соответствующей оси координат.

Это позволяет объяснить возможность ортогонального направления потока по отношению к градиенту. Действительно, как следует из рис. 3, знак коэффициента диффузии может изменяться в зависимости от градиента. При вращении постоянного по величине вектора градиента от  $\alpha = 0$  до  $\alpha = \pi/4$  величина проекции градиента на ось ординат изменяется от 0 до  $g/2$ , а величина проекции градиента на ось абсцисс изменяется от  $g/\sqrt{2}$  до  $g/2$ . Если на этих интервалах коэффициент диффузии соответствующим образом меняет знак, то становятся возможными любые углы между направлениями потока и градиента.

В более точных приближениях такое расщепление, по-видимому, невозможно из-за наличия нелинейных связей между корреляционными функциями. Однако это не исключает возможности любых углов между направлениями потока и градиента. Действительно, если, например, при малых значениях градиента коэффициент диффузии отрицателен, то при больших значениях градиента он может стать положительным, так как система будет стремиться уменьшить слишком большой градиент. Таким образом, при некотором значении градиента коэффициент диффузии будет равен нулю. Причем эти значения могут различаться для  $\alpha = 0$  и  $\alpha = \pi/4$ . Выбрав значение градиента так, чтобы коэффициент обращался в нуль в интервале  $\alpha \in (0, \pi/4)$ , можно также получить любые углы между направлениями потока и градиента. На рис. 5 показан пример такой ситуации для одного из вариантов учета парных вероятностей (квазихимические вероятности [6]). В приведенном примере изменение угла  $\gamma$  на  $180^\circ$  произошло при значении градиента 0.325. И обусловлено это явление зависимостью коэффициента диффузии от величины и направления градиента.

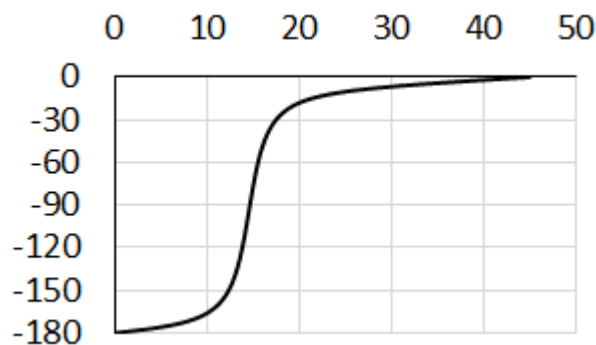


Рис. 5 – Угол между направлением потока и нормальным направлением в зависимости от угла между нормальным направлением и линиями решетки.  $A_0 = 0.5$ ,  $\beta\varepsilon = 2$ ,  $g = 0.325$ , третий способ вычисления концентраций

Ортогональность потока и градиента может, например, приводить к образованию каплей поверхностной жидкости различной формы. Если при угле  $\alpha_0 \in (0, \pi/4)$  поток и градиент ортогональны, то они ортогональны также при  $\pm \alpha_0 + k\pi/2$ ,  $k = 0, 1, 2, 3$ . Таким образом, если на поверхности имеется круглая капля, то на ее границе есть восемь точек, в которых вещество диффундирует вдоль границы. И, следовательно, капля будет деформироваться.

#### Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о существенном отличии коэффициентов диффузии при больших градиентах концентрации. При больших градиентах зависимость потока от градиента нелинейна, и лучше пользоваться более точным выражением (8) или коэффициентами (9), а не (2).

Качественные свойства диффузии в решеточном газе при больших градиентах концентраций существенно отличаются от свойств диффузии с постоянным коэффициентом и коэффициентом, зависящим только от концентраций. Представляет интерес и то, как эти свойства отражаются на протекании поверхностных явлений. Прежде всего, это относится к процессам, в которых есть узкая граница между концентрациями веществ.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

- Ландау Л.Д. Статистическая физика / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – М: Наука. – 1964. – 567 с.
- Левич В.Г. Курс теоретической физики. т. 1 / Левич В.Г. – М: Физматгиз. – 1962. – 695 с.
- Хилл Т. Статистическая механика / Хилл Т. – М: ИЛ. – 1960. – 486 с.
- Елизарова Т.Г. Кинетические алгоритмы для расчета гидродинамических течений / Елизарова Т.Г., Четверушкин Б.Н. // ЖВМ и МФ. – 1985. – Т. 25. – N 10. – С. 1526.
- Товбин Ю.К. Теория физико-химических процессов на границе газ-твердое тело / Товбин Ю.К. – М.: Наука. – 1988. – 285 с.
- Жданов В.П. Элементарные физико-химические процессы на поверхности / Жданов В.П. – Новосибирск: “Наука” Сиб. отд. – 1988. – 319 с.
- Еленин Г.Г. Математическое моделирование гетерогенных каталитических реакций на гранях монокристаллов благородных металлов. Часть I. Сверхструктуры и фазовые переходы / Еленин Г.Г. // Российский химический журнал. – 1996. – N 2. – С. 19-50.
- Трошиев Ю.В. О коэффициентах диффузии в неидеальном решеточном газе при больших градиентах концентраций / Трошиев Ю.В. – Труды факультета ВМК, Прикладная математика и информатика. – М: Диалог-МГУ. – 1999. – N 1. – С. 51-57.
- Трошиев Ю.В. Исследование матричных коэффициентов диффузии в решеточном газе при больших градиентах концентрации в приближении среднего поля / Трошиев Ю.В. // Препринт. – М: МАКС Пресс. – 2003. – 10 с.
- Трошиев Ю.В. Матричные коэффициенты диффузии на квадратной решетке / Трошиев Ю.В. // Ломоносовские чтения. – Москва, МГУ, ф-т ВМК. – Апрель 2006.
- Трошиев Ю.В. Матричные коэффициенты диффузии в решеточном газе при больших градиентах концентраций (квазихимическое приближение) / Трошиев Ю.В. // Тихоновские чтения, Секция Математическое моделирование и вычислительные методы. – Москва, МГУ, ф-т ВМК. – 29 октября – 2 ноября 2007.
- Еленин Г.Г. Математическое моделирование процесса образования островковых структур на поверхности монокристалла / Еленин Г.Г., Макеев А.Г. // Математическое моделирование. – 1991. – N 7. – С. 29.

#### Список литературы на английском языке / References in English

- Landau L.D. Statisticheskaya fizika [Statistical Physics] / L.D. Landau, E.M. Lifshitz. // Butterworth-Heinemann. – 1980. – V. 5. ISBN 978-0-7506-3372-7.
- Levich B.G. Kurs teoreticheskoy fiziki [Theoretical Physics]. V. 1 / B.G. Levich. – Moscow: PhysMathGiz. – 1962. – 695 p. [in Russian]
- Hill T.L. Statisticheskaya mekhanika [Statistical mechanics]. / T.L. Hill. – New York a. o., McHaw-Hill. – 1956.



4. Elizarova T.G. Kineticheskie algoritmy dlya rascheta gidrodinamicheskikh techenij [Kinetic algorithms for calculating gas dynamic flows]. / T.G. Elizarova, B.N. Chetverushkin. // USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics. – V. 25. – Issue 5. – 1985. – P. 164–169. [in Russian]
5. Tovbin Yu. K. Teoriya fiziko-himicheskikh processov na granice gaz-tverdoe telo [Theory of Physical Chemistry Processes at a Gas-Solid Interface] (Advances in Science and Technology in the USSR) / Yu. K. Tovbin – CRC Pr I Llc. – 1991. – 349 p. [in Russian]
6. Zhdanov V.P. Elementarnye fiziko-himicheskie processy na poverhnosti [Elementary Physicochemical Processes on Solid Surfaces] / V.P. Zhdanov. – Springer US. – 1991. DOI: 10.1007/978-1-4899-2373-8. [in Russian]
7. Elenin G.G. Matematicheskoe modelirovanie geterogennykh kataliticheskikh reakcij na granyah monokristallov blagorodnykh metallov. CHast I. Sverhstrukturny i fazovye perekhody [Mathematical modeling of heterogeneous catalytic reactions on the faces of crystals of precious metals. Part I. Superstructures and phase transitions] / G.G. Elenin. // Russian Chemical Journal. – 1996. – N 2. – P. 19-50. [in Russian]
8. Troshchiev Yu.V. O koeffitsientakh diffuzii v neideal'nom reshetochnom gaze pri bol'shih gradientakh koncentracij [Diffusion coefficients in a nonideal lattice gas with high concentration gradients]. – Computational Mathematics and Modelling / Yu.V. Troshchiev. – 2000. – V. 11. – N 1. – P. 40-45. DOI: 10.1007/BF02359062 [in Russian]
9. Troshchiev Yu.V. Issledovanie matrichnykh koeffitsientov diffuzii v reshetochnom gaze pri bol'shih gradientakh koncentracii v priblizhenii srednego polya [Investigation of Matrix Diffusion Coefficients in Lattice Gas under the Large Concentration Gradients in Mean Field Approximation]. – Preprint / Yu.V. Troshchiev. – Moscow: MAKSS Press. – 2003. – 10 p. [in Russian]
10. Troshchiev Yu.V. Matrichnye koeffitsienty diffuzii na kvadratnoj reshetke [The Matrix Diffusion Coefficients at Square Lattice] / Yu.V. Troshchiev. // Sci. Conf. Lomonosov Readings. – Moscow, MSU, Dept. CMC. – April 2006. [in Russian]
11. Troshchiev Yu.V. Matrichnye koeffitsienty diffuzii v reshetochnom gaze pri bol'shih gradientakh koncentracij (kvazihimicheskoe priblizhenie) [Matrix Diffusion Coefficients in Lattice Gas under Large Concentration Gradients (Quasi-chemical Approximation)] / Yu.V. Troshchiev // Tikhonovskie chteniya, Sekciya Matematicheskoe modelirovanie i vychislitel'nye metody [Sci. Conf. Tikhonov Readings, Section Mathematical Modeling and Numerical Methods] – Moscow, MSU, Dept. CMC. – October 29– November 2 2007. [in Russian]
12. Elenin G.G. Matematicheskoe modelirovanie processa obrazovaniya ostrovkovykh struktur na poverhnosti monokristalla [Mathematical Modeling of the Process of Island Structure Formation on the Single Crystal Surface] / G.G. Elenin, A.G. Makeev. – Matematicheskoe modelirovanie [Mathematical Modeling]. – 1991. – N 7. – p. 29. [in Russian]

## РАЗРАБОТКА ТЕРМОСТОЙКОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ПЕНОМАТЕРИАЛА

Научная статья

Ильина М.Е.<sup>1</sup>, Курочкин И.Н.<sup>2,\*</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-0405-2225;<sup>1,2</sup> Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия

\* Корреспондирующий автор (ivan33vl[at]yandex.ru)

**Аннотация**

В работе представлены результаты исследований по разработке термостойкого теплоизоляционного материала на основе связующего 10 % раствора поликарбосилана в ксилоле, наполненного различными полыми микросферами и волокнистым наполнителем, в качестве которого использовались кварцевые волокна. По результатам проведенных экспериментов, лучшие результаты были получены у образцов теплоизоляционного материала, содержащего полые углеродные микросферы. При содержании связующего 15-70 % мас., полых углеродных микросфер 12-65 % мас. и кварцевых волокон 8-43 % мас., полученный пеноматериал обладал пониженной плотностью, низкой теплопроводностью и хорошими прочностными характеристиками, что позволяет его рекомендовать для использования в качестве высокотемпературной теплоизоляции в различных отраслях промышленности, в том числе таких как энергетика и авиастроение.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, теплоизоляционные пеноматериалы, полимерное кремнийорганическое связующее, керамические и стеклянные микросферы, термостойкость, коэффициент теплопроводности.

## DEVELOPMENT OF HEAT-RESISTANT HEAT-INSULATING FOAM MATERIAL

Research article

Ilyina M.E.<sup>1</sup>, Kurochkin I.N.<sup>2,\*</sup><sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-0405-2225;<sup>1,2</sup> Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, Russia

\* Corresponding author (ivan33vl[at]yandex.ru)

**Abstract**

The paper presents the results of studies on the development of heat-resistant heat-insulating material based on a binder of a 10% solution of polycarbosilane in xylene filled with various hollow microspheres and fibrous filler, which was used as a silica fiber. According to the results of the experiments, the best results were obtained with samples of the heat-insulating material containing hollow carbon microspheres. With a binder content of 15-70% wt., hollow carbon microspheres of 12-65% wt. and quartz fibers of 8-43% wt., the foam obtained had a low density, low thermal conductivity and good strength characteristics, which makes it viable for use as high-temperature thermal insulation in various industries including energy and aircraft manufacturing.

**Keywords:** composite materials, heat-insulating foams, polymer silicone binder, ceramic and glass microspheres, heat resistance, thermal conductivity.

**Введение**

В настоящее время широкое распространение в различных отраслях промышленности получили композиционные материалы на основе полимерных связующих. Одной из разновидностей полимерных композиционных материалов являются пеноматериалы, в которых полимерное связующее наполнено полыми микросферами. В зависимости от того, какие технические и эксплуатационные характеристики хотят придать конкретному пеноматериалу и для каких целей он будет использоваться, в качестве связующего применяют различные полимеры и реакционноспособные олигомеры. Благодаря наличию полых микросфер, пеноматериалы характеризуются низким коэффициентом теплопроводности и низкой плотностью, что позволяет их использовать в качестве теплоизоляционных материалов [10], [11], [12]. Кроме того, в состав полимерных композиционных материалов, в том числе и пеноматериалов, для усиления прочностных и адгезионных свойств могут вводить порошкообразные и волокнистые наполнители, а также пигменты, термостабилизаторы, различные целевые добавки [8]. В ряде случаев, например, в условиях работы с повышенными температурами, пеноматериалы должны обладать значительной термостойкостью. Для получения термостойких пеноматериалов обычно используют полиорганосилоксановые связующие. Применение таких связующих связано с высокой энергией связи кислород-кремний в главной цепи макромолекулы полимера [6]. Однако верхний температурный предел, при котором пеноматериалы на основе полиорганосилоксанового связующего сохраняют свои рабочие характеристики, не превышает 250<sup>0</sup>С. Так, например, пеноматериал на основе силоксанового сополимера, волокон титана калия, кварцевых микросфер, борной кислоты начинает терять механическую прочность при температуре 300<sup>0</sup>С [13]. Аналогично, при температуре выше 300<sup>0</sup>С, теряет свои рабочие характеристики и пеноматериал на основе полиметилфенилсилоксановой смолы, полых кварцевых микросфер и аминного отвердителя [14]. Это объясняется тем, что при более высоких температурах, кроме термоокислительной деструкции, начинают протекать процессы термической деструкции [15], [16], что приводит к необратимым деформационным изменениям пеноматериалов и потери ими эксплуатационных свойств. Целью данного исследования является разработка

теплоизоляционного пеноматериала на основе кремнийорганического связующего, с использованием полых микросфер и волокнистого наполнителя, обладающего низкой теплопроводностью и низкой плотностью, по сравнению с известными пеноматериалами, и имеющего верхний предел термостойкости 700<sup>0</sup>, что позволит значительно расширить сферу применения полиорганосилоксановых пеноматериалов.

#### Материалы и методы исследования

Для разработки термостойкого теплоизоляционного пеноматериала в качестве связующего был использован 10 % раствор поликарбосилана в ксилоле. Для приготовления кремнийорганического связующего в виде раствора в ксилоле использовался порошкообразный поликарбосилан молекулярной массой 2500-3500 следующей структурной формулы (рис.1):

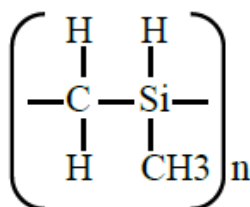


Рис. 1 – Структурная формула кремнийорганического связующего поликарбосилана

*Примечание: где n - количество групп*

Необходимо отметить, что в зависимости от способа получения поликарбосилана, его структура характеризуется сравнительно небольшими, но сильно разветвленными линейно-циклическими молекулами с большим количеством перекрестных связей и активных боковых звеньев. В любом случае, молекулы поликарбосилана, в основном, содержат связи Si-C, обеспечивающие соединение атомов кремния с органической группой и обладающие достаточной прочностью (энергия связи 313 кДж/моль) и, как следствие, придающие полимерному композиту на основе поликарбосилана прочность и термостойкость. При частичном термическом отрыве углеводородных групп возникают поперечные сшивки между молекулами, но сама полимерная цепь термически устойчива и не разрушается.

В качестве полых микросфер для разработки теплоизоляционного пеноматериала использовались полые керамические (ПКМ) и полые углеродные микросферы (ПУМ). ПКМ получают флотационной обработкой дымовых выбросов теплоэлектростанций, работающих на твердом топливе. В работе были использованы ПКМ от теплоэлектростанций, работающих на каменном угле. Керамические микросферы представляют собой полые, почти идеальной формы силикатные микросферы с гладкой поверхностью, диаметром от 10 до 600 микрон, в среднем около 100 мкм. Стенки сплошные непористые с толщиной от 2 до 10 мкм. Внутренняя полость частиц заполнена азотом и диоксидом углерода CO<sub>2</sub> [17], [18]. Используемые ПКМ имели следующий элементный состав: 57% SiO<sub>2</sub>, 28% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, остальное оксиды CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Полые углеродные микросферы, были получены путем пиролиза фенолформальдегидных полых микросфер в среде аргона при температуре 1200<sup>0</sup>С в течение 4 часов. Полученные микросферы имели размер от 20 до 100 мкм.

В качестве волокнистого наполнителя использовались кварцевые волокна (содержание SiO<sub>2</sub> – 99,9 %) длиной 50-500 мкм и диаметром 0,7 – 2,5 мкм.

Коэффициент теплопроводности определяли по ГОСТ 23630-79 на приборе ИТ- λ-400. Определение предела прочности на сжатие проводили по ГОСТ 8462-85. Кажущуюся плотность образцов пеноматериалов определяли по ГОСТ 409-2017.

Композицию для получения пеноматериала готовили путем смешения компонентов в смесителе. В смеситель заливали 10 мас.% раствор поликарбосилана в ксилоле, потом вводили кварцевые волокна и после перемешивания добавляли полые керамические или полые углеродные микросферы. Смесь перемешивали при 100-130<sup>0</sup>С для удаления растворителя, затем формовали образцы, которые помещали в печь и нагревали со скоростью 100<sup>0</sup>С/ч в атмосфере азота до 1000<sup>0</sup>С. Таким образом, были получены образцы пеноматериала двух видов: с полыми керамическими микросферами и полыми углеродными микросферами.

#### Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы были разработаны составы композиций для получения образцов пеноматериалов по выше приведенной технологии. Всего было изготовлено 10 образцов: 5 образцов пеноматериала с полыми углеродными микросферами и 5 образцов пеноматериала с полыми керамическими микросферами. Составы композиций для получения образцов пеноматериалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы композиций для получения образцов пеноматериалов

№ образца	Составы композиций, мас. %			
	10 % раствор поликарбосилана в ксилоле	Полые углеродные микросферы	Полые керамические микросферы	Кварцевые волокна
1	15,0	65,0	-	20,0
2	45,0	12,0	-	43,0
3	70,0	22,0	-	8,0
4	5	75,0	-	20,0
5	85	12,0	-	3,0
6	15,0	-	65,0	20,0
7	45,0	-	12,0	43,0
8	70,0	-	22,0	8,0
9	5	-	75,0	20,0
10	85	-	12,0	3,0

Во всех случаях, при получении образцов пеноматериалов, использовались кварцевые волокна, как армирующая добавка. Известно, что кварцевые волокна обычно применяют тогда, когда требуется значительная термическая стойкость и прочность получаемых изделий [19], поэтому их введение в состав образцов пеноматериала должно, как нами предполагается, обеспечить повышение этих важных показателей.

На втором этапе были исследованы свойства полученных образцов пеноматериалов. Основные свойства разработанных теплоизоляционных пеноматериалов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства образцов теплоизоляционных пеноматериалов

№	Свойства теплоизоляционных пеноматериалов				
	Кажущаяся плотность кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность при 250°С, Вт/мК	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при сжатии после 10 ч при 700°С на воздухе, МПа	Визуальный контроль
1	242	0,12	4,9	4,2	-
2	336	0,18	5,1	5,8	-
3	395	0,23	6,1	7,3	-
4	-	-	-	-	Деформация
5	-	-	-	-	Деформация
6	399	0,18	5,1	4,7	-
7	482	0,23	5,7	6,4	-
8	565	0,26	7,5	7,8	-
9	-	-	-	-	Деформация
10	-	-	-	-	Деформация

Выбор ПКМ и ПУМ в разработке рецептуры теплоизоляционного пеноматериала обусловлен нами прежде всего их высокой прочностью, низкой насыпной плотностью и низкой теплопроводностью. Необходимо отметить, что ПУМ уже нашли применение при создании композитных материалов, на основе полимерных связующих, при разработке сферопластиков, синтактичных пенопластов низкой плотности и теплопроводности [20], [21].

Из таблицы видно, что использование полых углеродных микросфер в композиции не снижает прочностные свойства разрабатываемого теплоизоляционного пеноматериала, вследствие того, что углеродные микросферы имеют шероховатую поверхность, по сравнению с поверхностью керамических микросфер, которая увеличивает силы межмолекулярного сцепления между поверхностью углеродных микросфер и связующим. После выдержки 10 ч при 700°С на воздухе предел прочности при сжатии полученного пеноматериала с использованием ПУМ составляет 4,2-7,3 МПа, что практически сопоставимо с показателями образцов пеноматериала с наполнителем ПКМ. В то же время, ПУМ обладают меньшим весом и более низким коэффициентом теплопроводности, чем ПКМ, поэтому использование их в композиции способствует улучшению теплоизоляционных свойств получаемого пеноматериала и снижению его удельного веса. У образцов теплоизоляционного материала с наполнителем ПУМ значительно ниже кажущаяся плотность и теплопроводность, по сравнению с образцами пеноматериала с ПКМ.

Из таблицы 2 видно также, что при введении кремнийорганического связующего в композицию в количестве до 5 % мас. и в количестве больше 87 % мас. наблюдается деформация полученных образцов пеноматериала, поэтому оптимальным количеством 10 % раствора поликарбосилана в ксилоле является 15-70 % мас.

Сравнительная характеристика известного пеноматериала [13] и разработанного кремнийорганического пеноматериала, полученного на основе композиции, содержащей 15-70 % мас. раствора поликарбосилана в ксилоле, 12-65 % мас. полых углеродных микросфер и 8-43 % мас. кварцевых волокон приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики известного и разработанного пеноматериала

п /п	Показатель	Значение	
Пеноматериал		Известный	Разработанный
1.	Теплопроводность, при 250°С, Вт/мК	0,26	0,12-0,23
2.	Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	686	242-395
2.	Предел прочности при сжатии, МПа	4,6	4.9-6,1
3.	Предел прочности при сжатии после 10 ч при 700°С на воздухе, МПа	Разрушение образца	4,2-7,3

**Заключение**

Таким образом, в результате проведенных исследований, разработан пеноматериал на основе поликарбосилана, полых углеродных микросфер и кварцевых волокон, который превосходит ранее известные полиорганосилоксановые пеноматериалы по термостойкости, прочности, обладает низкой теплопроводностью и плотностью, что позволяет его рекомендовать к использованию в качестве высокотемпературного теплоизоляционного материала и расширить сферу его применения, включая такие высокотехнологичные отрасли промышленности, как энергетика и авиастроение.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Берлин А. А. Принципы создания композиционных полимерных материалов / Берлин А. А. Вольфсон С.А., Ошмян В.Г. и др. М.: Химия. 1990. 240 с.
2. Виткалова И.А. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекольных отходов / Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. и др. // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2-6.
3. Сокольская М.К. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов / Сокольская М.К., Колосова А.С., Виткалова И.А. и др. // Фундаментальные исследования. 2017. №10-2. С. 290-295.
4. Чухланов В.Ю. Модификация полиорганосилоксаном связующего на основе полиуретана / Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. // Пластические массы. 2013. № 9. С. 8-10.
5. Торлова А.С. Утилизация керамических и полимерных отходов в производстве облицовочных композиционных материалов / Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С. и др. // Экология и промышленность России. 2019. №7. С. 36-41.
6. Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения / Киреев В.В. М.: Юрайт, 2013. 602 с.
7. Чухланов В.Ю. Тонкослойные покрытия на основе полых неорганических микросфер и полиакрилового связующего / Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г., Трифонова Т.А. и др. // Химическая технология. 2018. Т.19. № 4. С. 155-160.
8. Колосова А.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение / Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А. и др. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5. С. 245-256.
9. Чухланов В.Ю. Диэлектрические свойства герметизирующей композиции на основе эпоксидиановой смолы, модифицированной полиметилфенилсилоксаном, в сантиметровом свч-диапазоне / Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. // Клеи. Герметики. Технологии. 2015 № 3. С. 6-1.
10. Колосова А.С. Современные методы получения полимерных композиционных материалов и изделий из них / Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 8. С. 123-129.
11. Чухланов В.Ю. Теплофизические свойства синтактных пенопластов на основе полидиметилсилоксанового связующего / Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. // Пластические массы. 2015. № 1-2. С.45-46.
12. Селиванов О.Г. Разработка теплоизоляционного огнестойкого покрытия, содержащего отходы электрохимических производств / Селиванов О.Г., Чухланов В.Ю., Трифонова Т.А. и др. // Экология промышленного производства. 2018. № 4 (104). С. 2-6.
13. Патент США № 3317455, кл. 260-37. Оpubл.1967.
14. Kenlg S. Cell. Plast / Kenlg S., Raiter J., Narkis M-J. and others.1984. № 21 P. 423-427.
15. Тагер А.А. Физико-химия полимеров / Тагер А.А. // Под редакцией Аскадского А.А. М.: Научный мир, 2007. 573 с.
16. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров / Брык М.Т. - М.: Химия, 1989. 192 с.
17. Кизильштейн Л.Я. Следы угольной энергетики / Кизильштейн Л.Я. // Наука и жизнь. 2008. № 5. С. 35-38.
18. Сапелин А.Н. Эффективный керамический материал для решения специальных задач в малоэтажном строительстве / Сапелин А.Н., М.Ю. Елистратов // Известия вузов. Строительство. – 2014. - № 7. – с. 39-43.
19. Гутников С.И. Стекланные волокна / Гутников С.И., Лазорак Б.И., Селезнев А.Н. / Учебное пособие. - М.: МГУ имени М. В. Ломоносова, 2010. 53 с.
20. Чухланов В.Ю. Электропроводящие герметизирующие композиции низкой плотности на основе полых углеродных микросфер и эпоксидиановой смолы / Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г., Чухланова Н.В. // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 3. С.2-6.

21. Чухланов В.Ю. Электрические свойства сферопластиков на основе полых углеродных микросфер и полидиметилсилоксана / Чухланов В.Ю., Селиванов О.Г. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59. № 7. С. 29-33.

### Список литературы на английском языке / References in English

- Berlin A. A. Principy sozdaniya kompozicionnykh polimernykh materialov [Principles of creation of composite polymeric materials] / Berlin A. A., Vol'fson S.A., Oshman V.G. and others M.: Chemistry, 1990 – 240 p. [in Russian]
- Vitkalova I.A. Razrabotka sposoba polucheniya oblicovochnoy kompozicionnoy materiala na osnove polimernykh i stekol'nykh othodov [Development of a method for obtaining a facing composite material based on polymer and glass waste] / Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. and others // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva [Ecology of industrial production] 2018, №3, p. 2-6. [in Russian]
- Sokol'skaya M.K. Svjazujushhie dlja polucheniya sovremennykh polimernykh kompozicionnykh materialov [Binders for production of modern polymeric composite materials] / Sokol'skaya M.K., Kolosova A.S., Vitkalova I.A. and others // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental study] 2017, №10-2, p. 290-295. [in Russian]
- Chukhlanov V.Y. Modifikacija poliorganosiloksanom svjazujushhego na osnove poliuretana [Modification of polyorganosiloxanes binder based on polyurethane] / Chukhlanov V.Y., Selivanov O.G. // Plasticheskie massy [Plastic Mass] 2013, №9, p. 8-10. [in Russian]
- Torlova A.S. Utilizacija keramicheskikh i polimernykh othodov v proizvodstve oblicovochnykh kompozicionnykh materialov [Utilization of ceramic and polymer wastes in production of facing composite materials] / Torlova A.S., Vitkalova I.A., Pikalov E.S. and others // Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia] 2019, №7, p. 36-41.
- Kireev V.V. Vysokomolekulyarnye soedineniya [High molecular weight compounds] / Kireev V.V. M.: Yurait, 2013. – p. 602. [in Russian]
- Chukhlanov V.Y. Tonkoslojnye pokrytiya na osnove polykh neorganicheskikh mikrosfer i poliakrilovogo svyazuyushhego [Thin-layer coatings based on hollow inorganic microspheres and polyacrylic binder] / Chukhlanov V.Y., Selivanov O.G., Trifonova T.A. and others // Himicheskaya tekhnologiya [Chemical technology] 2019, Vol. 19, №4, p. 155-160. [in Russian]
- Kolosova A.S. Sovremennye polimernye kompozicionnye materialy i ikh primenenie [Modern polymer composite materials and their application] / Kolosova A.S., Sokol'skaya M.K., Vitkalova I.A. and others // Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy [International journal of applied and fundamental research] 2018, №5, p. 245-256. [in Russian]
- Chukhlanov V.Y. Dielektricheskie svoystva germetiziruiushchei kompozitsii na osnove epoksidanovoi smoly, modifitsirovannoi polimetilfenilsiloksanom, v santimetrovom svch-radiodapazone [Dielectric properties of sealing composition based on epoxy resin modified with polymethylphenylsiloxane in centimeter microwave radio band] / Chukhlanov V.Y., Selivanov O.G. and others // Klei. Germetiki. Tekhnologii [Glues. Sealants. Technologies] 2015, №3, p. 6-11. [in Russian]
- Kolosova A.S. Sovremennye metody polucheniya polimernykh kompozitsionnykh materialov i izdeliy iz nikh [Modern methods of obtaining polymer composite materials and products from them] / Kolosova A.S., Sokol'skaya M.K., Vitkalova I.A. and others // Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy [International journal of applied and fundamental research] 2018, №8, p. 123-129. [in Russian]
- Chukhlanov V.Y. Teplofizicheskie svoystva sintaknykh penoplastov na osnove polidimetilsiloksanovogo svyazuyushhego [Thermophysical properties of syntactic foams based on polydimethylsiloxane binder] / Chukhlanov V.Y., Selivanov O.G. // Plasticheskie massy [Plastic Mass] 2015, №1-2, p. 45-46. [in Russian]
- Selivanov O.G. Razrabotka teploizolatsionnogo ognestoikogo pokrytiya, soderzhashchego otkhody elektrokhimicheskikh proizvodstv / Selivanov O.G., Chukhlanov V.Y., Trifonova T.A. and others // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva [Ecology of industrial production] 2018, №4 (104), p. 2-6. [in Russian]
- U.S. patent No. 3317455, CL. 260-37. Publ.1967. [in Russian]
- Kenlg S. Cell. Plast / Kenlg S., Raiter J., Narkis M-J. 1984. № 21 P. 423-427.
- Tager A.A. Fiziko-Khimiya polimerov [Physico-chemistry of polymers] / Tager A.A. M.: Nauchnyy Mir, 2007. – 573p. [in Russian]
- Bryk M.T. Destruktsiya napolnennykh polimerov [Destruction of filled polymers] / Bryk M.T. M.: Khimiya, 1989. – 192p. [in Russian]
- Kizilshtein L. Ya. Sledy ugolnoi energetiki [Traces of coal power] / Kizilshtein L. Ya. // Nauka i Zhizn' [Science and life] 2008, №5, p. 35-38. [in Russian]
- Sapelin A.N. Effektivnyi keramicheskii material dlja resheniya spetsialnykh zadach v maloetazhnom stroitelstve [Effective ceramic material for special tasks in low-rise construction] / Sapelin A.N., Elistratov M. Y. // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo [Proceedings of the universities. Construction] 2014, №7, p. 39-43. [in Russian]
- Gutnikov S.I. Steklyannie volokna [Glass fiber] / Gutnikov S.I., Lazoryak B.I., Seleznev A.N. M.: MGU im. M.V. Lomonosova, 2010. – 53p. [in Russian]
- Chukhlanov V.Y. Elektroprovodiashchie germetiziruiushchie kompozitsii nizkoi plotnosti na osnove polykh uglerodnykh mikrosfer i epoksidanovoi smoly [Electrically conductive low-density sealing compositions based on hollow carbon microspheres and epoxy resin] / Chukhlanov V.Y., Selivanov O.G., Chukhlanova N.V. and others // Klei. Germetiki. Tekhnologii [Glues. Sealants. Technologies] 2017, №3, p. 2-6. [in Russian]
- Chukhlanov V.Y. Elektricheskie svoystva sferoplastikov na osnove polykh uglerodnykh mikrosfer i polidimetilsiloksana [Electrical properties of spheroplastics based on hollow carbon microspheres and polydimethylsiloxane] / Chukhlanov V.Y., Selivanov O.G. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika [Proceedings of higher educational institutions. Physics] 2016, Vol. 59, №7, p. 29-33. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.005>**РИСКИ КИБЕРЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Научная статья

**Оладько В.С. \***

ORCID: 0000-0003-0500-8928,

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (oladko.vs[at]yandex.ru.ru)

**Аннотация**

В статье затрагивается проблема обеспечения кибербезопасности систем дистанционного обучения образовательных учреждений. Рассмотрены основные факторы риска безопасности, виды и источники угроз. Составлена модель нарушителя информационной безопасности в системе дистанционного обучения, описаны виды нарушителей и преследуемые цели. Предложен и математически описан алгоритм оценки рисков кибербезопасности. Для расчета рисков было предложено использовать трехфакторную модель учитывающую частоту реализации угрозы, ущерб и коэффициент результативности контрмер по противодействию угрозе.

**Ключевые слова:** социотехническая система, модель нарушителя, угроза, ущерб, меры защиты, образование.

**RISKS OF CYBER SECURITY OF DISTANCE LEARNING SYSTEMS**

Research article

**Oladko V.S. \***

ORCID: 0000-0003-0500-8928,

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

\* Corresponding author (oladko.vs[at]yandex.ru.ru)

**Abstract**

The article addresses the issue of providing cybersecurity of distance learning systems at educational institutions. The main safety risk factors, as well as types and sources of threats are considered. A model of the information security violator in the distance learning system is compiled; types of violators and goals pursued are described. A cybersecurity risk assessment algorithm is not only proposed but also mathematically described. To calculate risks, it was offered to use a three-factor model that takes into account the frequency of threat, damage and coefficient of effectiveness of the measures aimed at countering the threat.

**Keywords:** sociotechnical system, model of the violator, threat, damage, protective measures, education.

**Введение**

Сегодня образовательные учреждения широко используют в своей деятельности электронную информацию, средства вычислительной техники, информационные системы, интернет – ресурсы и системы дистанционного обучения (СДО). Данные системы тесно взаимодействуют друг с другом и участниками образовательного процесса, образуя виртуальную социотехническую систему [1], что позволяет обеспечить непрерывность обучения и интерактивность взаимодействия преподавателя и обучающегося вне времени и пространства. Дистанционные технологии позволяют расширить возможности очного образования увеличив взаимную доступность субъектов обучения, информационных массивов данных и виртуальных образовательных объектов. При этом точками доступа в СДО могут быть как автоматизированные рабочие места внутри образовательного учреждения, так и удаленные устройства что в свою очередь порождает ряд источников киберугроз и уязвимостей системы [2]. Как следствие, нарушение безопасности СДО в результате воздействия угроз различного характера, зачастую приводит и к нарушению информационной безопасности (ИБ) в сегменте или всей информационной системе образовательного учреждения.

Для предотвращения различных сценариев нарушения ИБ и минимизации ущерба для СДО и информационной системы образовательного учреждения, необходимо применять комплекс мер и средств защиты информации на различных уровнях функционирования системы, а также выявлять и контролировать потенциальные риски ИБ. Поскольку именно контроль рисков позволит выявить недопустимые нарушения и выработать адекватную стратегию управления.

**Источники угроз кибербезопасности СДО**

Анализ литературных источников показывает, существует большое количество классификаций угроз информационной безопасности. Однако, практически в каждой классификации присутствуют такие признаки как природа возникновения (антропогенные, техногенные, природные) и источник угрозы. Принимая данные признаки за основные, можно сделать вывод, что по природе возникновения для СДО актуальными будут являться антропогенные источники, обусловленные действиями администраторов, пользователей СДО, внутренних и внешних злоумышленников и техногенные источники, связанные со сбоями программного обеспечения сервисов СДО, надежностью аппаратуры и каналов связи информационной инфраструктуры. Подробное описание модели угроз безопасности типовой СДО представлена автором в работе [3]. С учетом модели угроз, была составлена описательная модель нарушителя ИБ в СДО, как наиболее опасного источника угроз кибербезопасности (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Модель нарушителя безопасности в СДО

Вид злоумышленника	Тип	Цели
Внешние субъекты (физические лица)	Внешний	1) причинение финансового/репутационного ущерба 2) желание самореализации; 3) выявление уязвимостей СДО и ИС образовательного учреждения с целью их дальнейшей продажи и получения финансовой выгоды; 4) хищение интеллектуальной собственности (авторских учебных материалов, курсов); 5) получение НСД к ресурсам и сервисам СДО; 6) нарушение целостности и/или уничтожение учебных материалов и данных об учебном процессе; 7) нарушение доступности веб-сайта и сервера СДО; 8) нарушение доступности информации и материалов учебных курсов для пользователей СДО; 9) получение НСД к персональным данным студентов и сотрудников вуза.
Конкурирующие учебные заведения	Внешний	1) получение конкурентных преимуществ
Преподаватели	Внутренний	1) получение НСД к ресурсам и сервисам СДО; 2) превышение привилегий и получение контроля над СДО; 3) получение через скомпрометированную СДО НСД к внутренней ИС образовательного учреждения; 4) хищение научных материалов и интеллектуальной собственности: учебных материалов, оценочных материалов и материалов, создаваемых коллективно участниками учебного процесса; 5) получение НСД к персональным данным студентов и сотрудников; 6) получение НСД и внесение изменений в БД учебных ведомостей; 7) получение НСД к внутренней служебной и другой конфиденциальной информации, хранящейся и обрабатываемой в ИС; 8) нарушение целостности и/или уничтожение учебных материалов и данных об учебном процессе; 9) нарушение доступности веб-сайта и сервера СДО; 10) нарушение доступности информации и материалов учебных курсов для пользователей СДО; 11) причинение финансового/репутационного ущерба
Обучающиеся	Внутренний	
Методисты	Внутренний	
Администраторы, разработчики и служба технической поддержки СДО, специалисты по ИБ	Внутренний	

Результатами деятельности нарушителя являются риски безопасности информационного, операционного, финансового, репутационного характера [4], [5], часть из которых может лежать в области допустимых и приниматься образовательным учреждением, а часть являться недопустимыми. Принятие решений и выбор стратегии в отношении рисков должно реализовываться в рамках непрерывного цикла управления.

#### Алгоритм управления рисками кибербезопасности СДО

Идентифицированные киберугрозы СДО подлежат исследованию на предмет актуальности и необходимости применения защитных средств и механизмов, направленных на блокирование угрозы и снижение потенциальных рисков последствий. Для этого исследуются такие характеристики угроз как вероятность реализации и возможный ущерб. Оценка может производиться на основании обработанной статистической информации о событиях безопасности [6], моделирования [5] или экспертной оценки.

Как показывает [2] при формировании экспертной группы привлекаются несколько категорий специалистов от аналитиков, специалистов по защите информации, разработчиков, пользователей и руководителей, которые оценивают угрозы и их параметры (вероятность, ущерб) по количественной, качественной или смешанной шкале, а затем на основании их оценок формируется интегральная оценка каждого параметра угрозы. Соотношение между ущербом, вероятностью (частотой) реализации угрозы ИБ определяет уровень риска от реализации угрозы, который учитывается при ранжировании угроз по степени опасности. Чем опасней угроза, тем выше риск и ее актуальность для СДО. Оценку актуальности угроз рекомендуется проводить периодически на всех этапах жизненного цикла СДО, поскольку именно она указывает насколько необходимо использовать средства и механизмы, противодействующие угрозе.

В данной статье для оценки рисков кибербезопасности СДО предлагается алгоритм, основанный на количественных параметрах. Для каждой угрозы  $TR_{ij}$  из частного списков угроз, где  $j$  - порядковый номер угрозы в частном списке угроз для  $i$ -ой подсистемы СДО. Риск является вероятностной величиной, для расчета используется распространенная двухфакторная модель оценки на основе применения показателя ожидаемого ущерба -  $U$  и вероятности реализации угрозы -  $p$ , формула 1.



$$R(TR_{ij}) = Up \quad (1)$$

Вероятность реализации угрозы лежит в диапазоне [0;1], на значение величины напрямую оказывает влияние наличие/отсутствие мер защиты в данной подсистеме СДО и статистически данные о частоте реализации подобной угрозы -  $h$ . Для оценки влияния мер защиты на вероятность реализации угрозы в подсистеме СДО предлагается использовать 4 уровня защиты, каждому из которых ставится в соответствие коэффициент результативности:

- меры защиты отсутствуют (QSMlevel=1);
- меры защиты создают барьер на пути реализации угрозы и могут снизить вероятность ее реализации (QSMlevel=0.75);
- меры защиты создают несколько барьеров и существенно затрудняют процесс реализации угрозы (QSMlevel=0.5);
- меры защиты полностью блокируют угрозу (QSMlevel=0).

С учетом формулы 1 и указанных выше правил, величина риска от каждой угрозы в  $i$ -ой подсистеме СДО будет рассчитываться по формуле 2.

$$R(TR_{ij}) = U_j h_j QSMlevel_j \quad (2)$$

Общий риск по каждой подсистеме СДО будет определяться как.

$$R_i = \sum_{j=1}^m R(TR_{ij}) = \sum_{j=1}^m U_j h_j QSMlevel_j \quad (3)$$

где  $i$  – подсистемы СДО,  $j$  – номер угрозы в каждой  $i$ -ой подсистеме,  $m$  – число угроз в  $i$  – подсистеме, – QSMlevel $_j$  значение коэффициента результативности мер защиты в каждой подсистеме.

Для определения актуальности угрозы по уровню риска необходимо сравнить полученные с уровнем допустимого риска, все значения меньше допустимого подлежат принятию остальные подлежат страхованию, переносу или уменьшению за счет применения мер и средств защиты.

#### Заключение

Для расчета рисков было предложено использовать трехфакторную модель учитывающую частоту реализации угрозы, ущерб и коэффициент результативности контрмер по противодействию угрозе. Предложенный подход может применяться на этапе проектирования и реализации СДО или в процессе внутреннего аудита безопасности.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Добрынин В.Н. Высшее образовательное учреждение как социотехническая виртуальная система: состояние и пути решения проблем/ В.Н. Добрынин, Ульянов С.В., Булякова И.А. // Системный анализ в науке и образовании. – 2010. – №4. – С. 1–16.
2. Оладько В.С. Функциональная модель исследования безопасности системы дистанционного обучения/ В.С. Оладько// Безопасность информационных технологий. – 2018. – Т. 25. – № 3. – С. 101–111.
3. Оладько В.С. Модуль оценки защищенности систем дистанционного образования вузов/ В.С. Оладько// Образовательные технологии и общество. – 2016. – Т. 19. – № 1. – С. 360–376.
4. Петрова Р.Г. Возможности и риски дистанционного образования в высшей школе/ Петрова Р.Г., Петров С.И., Рябова Т.В. //Казанский педагогический журнал. – 2015. – №. – С. 294 – 299.
5. Руденко Л.И. Моделирование оценки рисков информационной безопасности/ И.Л. Руденко, Пушкарева Е.В. // V Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция. Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского. – 2019. – С. 163 – 165.
6. Умнищын М.Ю. Отслеживание состояний информационной системы на основе анализа данных о событиях/ М.Ю. Умнищын, Михальченко С.В. //Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – №4 (40). – С. 165 – 173.
7. Лившиц И.И. Методы оценки защищенности систем менеджмента информационной безопасности, разработанных в соответствии с требованиями международного стандарта ИСО/МЭК 27001:2005 / автореферат дис. ... канд. тех. наук: 05.13.19 /Лившиц Илья Иосифович. – Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук. Санкт-Петербург, 2012. – 20 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English\*

1. Dobrynin V.N. Vyssheye obrazovatel'noye uchrezhdeniye kak sotsiotekhnicheskaya virtual'naya sistema: sostoyaniye i puti resheniya problem [Higher educational institution as a sociotechnical virtual system: state and ways of solving problems] / V.N. Dobrynin, Ul'yanov S.V., Bulyakova I.A. // Sistemnyy analiz v nauke i obrazovanii [System analysis in science and education]. – 2010. – №4. – P. 1–16. [in Russian]
2. Oladko V.S. Funktsional'naya model' issledovaniya bezopasnosti sistemy distantsionnogo obucheniya [Safety assessment functional model of distance learning system]/ V.S. Oladko// Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologiy [IT Security]. – 2018. – Vol. 25. – № 3. – P. 101–111. [in Russian]

3. Oladko V.S. Modul' otsenki zashchishchennosti sistem distantionnogo obrazovaniya vuzov [The module for assessing the security of distance education systems of universities] / V.S. Olad'ko// Obrazovatel'nyye tekhnologii i obshchestvo [Educational technologies and society]. - 2016. - Vol. 19. - № 1. - P. 360-376. [in Russian]
4. Petrova R.G.Vozmozhnosti i riski distantionnogo obrazovaniya v vysshey shkole [Opportunities and risks of distance education in higher education]/ Petrova R.G., Petrov S.I., Ryabova T.V. //Kazanskiy pedagogicheskiy zhurnal [Kazan Pedagogical Journal]. – 2015. - №. - P. 294 – 299. [in Russian]
5. Rudenko L.I.Modelirovaniye otsenki riskov informatsionnoy bezopasnosti [Modeling of information security risk assessment]/ I.L. Rudenko, Pushkareva Ye.V. // V Vserossiyskaya s mezhdunarodnym uchastiyem nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Krymskiy federal'nyy universitet imeni V.I. Vernadskogo [All-Russian with international participation scientific-practical conference]. - 2019. – P. 163 – 165. [in Russian]
6. Umnitsyn M.Yu., Mikhail'chenko S.V. Otslezhivaniye sostoyaniy informatsionnoy sistemy na osnove analiza dannykh o sobyitiyakh [Tracking the states of an information system based on an analysis of event data // M.Yu. Umnitsyn//Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiye tekhnologii [Caspian Journal: Management and High Technologies]. – 2017. - №4 (40). – P. 165 – 173. [in Russian]
7. Livshchits I.I. Metody otsenki zashchishchennosti sistem menedzhmenta informatsionnoy bezopasnosti, razrabotannykh v sootvetstvii s trebovaniyami mezhdunarodnogo standart ISO/MEK 27001:2005 [Methods for assessing the security of information security management systems developed in accordance with the requirements of the international standard ISO / IEC 27001: 2005] / avtoreferat dis. ... of PhD in Engineering: 05.13.19 /Livshits Il'ya Iosifovich. - Sankt-Peterburgskiy institut informatiki i avtomatizatsii Rossiyskoy akademii nauk. Sankt-Peterburg, 2012. – 20 p. [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.006>**ВЛИЯНИЕ ОКСИДА ЛАНТАНА НА СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИ СТОЙКОЙ КЕРАМИКИ, ПОЛУЧАЕМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ШЛАМА**

Научная статья

**Виткалова И.А.<sup>1</sup>, Торлова А.С.<sup>2</sup>, Пикалов Е.С.<sup>3,\*</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-9675-6432;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-1622-5584;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-9380-8014;<sup>1, 2, 3</sup> Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия

\* Корреспондирующий автор (evgeniy-pikalov[at]mail.ru)

**Аннотация**

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования зависимости эксплуатационных свойств исследуемой керамики от количества оксида лантана в составе шихты. Основным компонентом разрабатываемой шихты является малопластичная глина, применение которой без функциональных добавок не позволяет получить качественные изделия. Дополнительными добавками являются борная кислота и гальванический шлам, позволяющие снизить температуру жидкофазного спекания с получением химически и термически стойкой стекловидной фазы. В ходе выполненных исследований выявлено, что оксид лантана участвует в образовании стекловидной фазы, приводя к повышению ее прочности, химической и термической стойкости. По итогам работы определено количество оксида лантана, позволяющее эффективно повысить качество получаемой химически стойкой керамики.

**Ключевые слова:** химически стойкая керамика, малопластичная глина, оксид лантана, гальванический шлам, борная кислота.

**INFLUENCE OF LANTHANUM OXIDE ON THE PROPERTIES OF CHEMICALLY RESISTANT CERAMICS OBTAINED WITH THE USE OF GALVANIC SLUDGE**

Research article

**Vitkalova I.A.<sup>1</sup>, Torlova A.S.<sup>2</sup>, Pikalov E.S.<sup>3,\*</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-9675-6432;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-1622-5584;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-9380-8014;<sup>1,2,3</sup> Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

\* Corresponding author (evgeniy-pikalov[at]mail.ru)

**Abstract**

This paper presents the results of an experimental study of the dependence of the operational properties of ceramics on the amount of lanthanum oxide in the composition of charge. The main component of the processed charge is low-plastic clay, the use of which does not allow obtaining high-quality products. Additional additives are boric acid and galvanic sludge, which allow lowering the temperature of liquid-phase sintering to obtain a chemically and thermally stable glassy phase. In the course of the studies, it was found that lanthanum oxide is involved in the formation of the glassy phase leading to an increase in its strength, chemical and thermal resistance. The amount of lanthanum oxide was determined by the results of the work, which enables effective improvement of the quality of the obtained chemically resistant ceramics.

**Keywords:** chemically resistant ceramics, low plastic clay, lanthanum oxide, galvanic sludge, boric acid.

**Введение**

К химически стойким относятся кислотоупорные и щелочепорные керамические изделия, которые применяются для кладки и облицовки фундаментов, полов, стен и строительных конструкций, работающих в контакте с агрессивными средами, для изготовления фасонных изделий, насадок и изделий для химической аппаратуры, для кладки и футеровки аппаратов, трубопроводов, дымоходов и газоходов на предприятиях химической, металлургической, нефтехимической, а также молочной отраслей промышленности [1], [2], [3].

Наряду со стойкостью к агрессивным средам как при нормальной, так и при повышенных температурах, химически стойкая керамика характеризуется термостойкостью, высокими прочностными характеристиками, пониженным водопоглощением, влаго- и газонепроницаемостью. Указанные свойства обеспечиваются выбором сырьевых материалов и проведением обжига при температурах от 1200 °С. Для некоторых видов химически стойкой керамики дополнительное повышение стойкости к кислотам, щелочам и резким изменениям температур, снижение водопоглощения обеспечиваются получением слоя глазури на поверхности изделий [2], [4].

К химически стойкой керамике относят клинкерную керамику, фарфор и полуфарфор, которые получают на основе высокопластичных глин, и техническую керамику, получаемую на основе тугоплавких и огнеупорных глин, тугоплавких минералов (форстерит, шпинель и др.) или в результате спекания оксидов, карбидов, нитридов, боридов и силицидов алюминия, магния, циркония, титана и др. металлов [4], [5].

Широкому применению перечисленных сырьевых материалов препятствуют их высокая стоимость и ограниченные запасы в природе. Следовательно, разработка составов шихт и методов для массового производства химически стойкой керамики с использованием более распространенных и дешевых сырьевых материалов является

актуальной задачей.

Авторами данной работы ранее была получена кислотоупорная керамика на основе малопластичной глины при дополнительном введении 5 мас. % борной кислоты, 5 мас. % оксида лантана и до 5 мас. % гальванического шлама. В данном составе борная кислота обеспечивает образование боросиликатной аморфной фазы, характеризующейся кислотостойкостью и термостойкостью, а оксиды тяжелых металлов, образующиеся при обжиге из гальванического шлама, наряду с оксидом лантана дополнительно повышают кислотостойкость и термостойкость керамики. Разработанная кислотоупорная керамика характеризуется самоглазурованием поверхности изделий и остекловыванием частиц керамики в объеме [1]. Эффекты самоглазурования и остекловывания керамики были получены авторами и в других работах, что позволило повысить термостойкость, прочность и морозостойкость, снизить водопоглощение изделий.

Целью данной работы являлось исследование зависимостей эксплуатационных свойств разрабатываемого материала от содержания в составе шихты оксида лантана и выбор количества данного компонента, обеспечивающего получение высококачественной химически стойкой керамики.

#### Методы и принципы исследования

Основу состава разрабатываемой шихты для получения химически стойкой керамики составляла глина Суворотского месторождения Владимирской области следующего состава (мас. %):  $\text{SiO}_2 = 67,5$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,75$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,85$ ;  $\text{CaO} = 2,8$ ;  $\text{MgO} = 1,7$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 2,4$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 0,7$ . Число пластичности данной глины составляет 5,2, а значит она в соответствии с ГОСТ 9169-75 относится к малопластичным, поэтому изделия, полученные при ее использовании без введения функциональных добавок, характеризуются склонностью к трещинообразованию, что приводит к их большому водопоглощению и низким прочностным характеристикам [1].

Для снижения температуры жидкофазного спекания и обеспечения эффекта самоглазурования в состав шихты совместно вводились борная кислота марки В 2-го сорта с содержанием основного вещества не менее 98,6 мас. % (ГОСТ 18704-78), оксид лантана марки ЛаО-Д с содержанием основного вещества не менее 99,89577 мас. % (ТУ 48-4-523-89) и гальванический шлам, образующийся в результате реагентной очистки сточных вод предприятия ОАО "Завод "Автоприбор" (г. Владимир).

Применяемый шлам содержал в своем составе следующие соединения (мас. %):  $\text{Zn}(\text{OH})_2 = 11,3\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 7,08\%$ ;  $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 16,52\%$ ;  $\text{Cr}(\text{OH})_3 = 9,31\%$ ;  $(\text{Fe}^{2+})\text{Cr}_2\text{S}_4 = 4,17\%$ ;  $\text{CaCO}_3 = 40,25\%$ ;  $\text{CaO} = 3,45\%$ ;  $\text{ZnO} = 2,41\%$ ;  $\text{Cu}(\text{OH})_2 = 2,38\%$ ;  $\text{Ni}(\text{OH})_2 = 2,62\%$ ;  $\text{Mn}(\text{OH})_2 = 0,64\%$ ;  $\text{Pb}(\text{OH})_2 = 0,14\%$  [1].

Глину и гальванический шлам предварительно высушивали до постоянной массы и измельчали до размера частиц не более 0,63 мм. Все компоненты шихты в заданных соотношениях первоначально смешивали в сухом состоянии, а затем с добавлением 8 мас. % воды до получения однородной массы. Из данной массы при давлении 15 МПа прессовали образцы, которые обжигали при максимальной температуре 1050 °C.

У образцов исследуемой химически стойкой керамики по стандартным для строительной керамики методикам определяли кислотостойкость (КС, %), щелочестойкость (ЩС, %), термостойкость (ТС (1000 °C – вода), теплосмен), открытую пористость ( $P_{\text{отк}}$ , %), прочность на сжатие ( $\sigma_{\text{сж}}$ , МПа) и изгиб ( $\sigma_{\text{изг}}$ , МПа), водопоглощение (В, %) и морозостойкость (М, циклы).

#### Основные результаты

В результате ранее проведенных экспериментов авторами было выявлено, что при введении свыше 5 мас. % борной кислоты наблюдается уменьшение прочности изделий и их деформация из-за избытка стекловидной фазы. В тоже время при введении свыше 5 мас. % гальванического шлама происходит снижение прочности и рост водопоглощения из-за повышения пористости в результате того, что при обжиге происходит разложение входящих в состав шлама гидроксидов тяжелых металлов и карбоната кальция с образованием водяного пара и диоксида углерода [1]. В связи с этим исследования в данной работе проводились с использованием составов шихты, содержащих 5 мас. % борной кислоты, 5 мас. % гальванического шлама и до 10 мас. % оксида лантана.

По результатам выполненных в данной работе экспериментов установлено, что с увеличением количества оксида лантана в составе шихты происходит повышение кислотостойкости и щелочестойкости исследуемой керамики (см. рисунок 1).

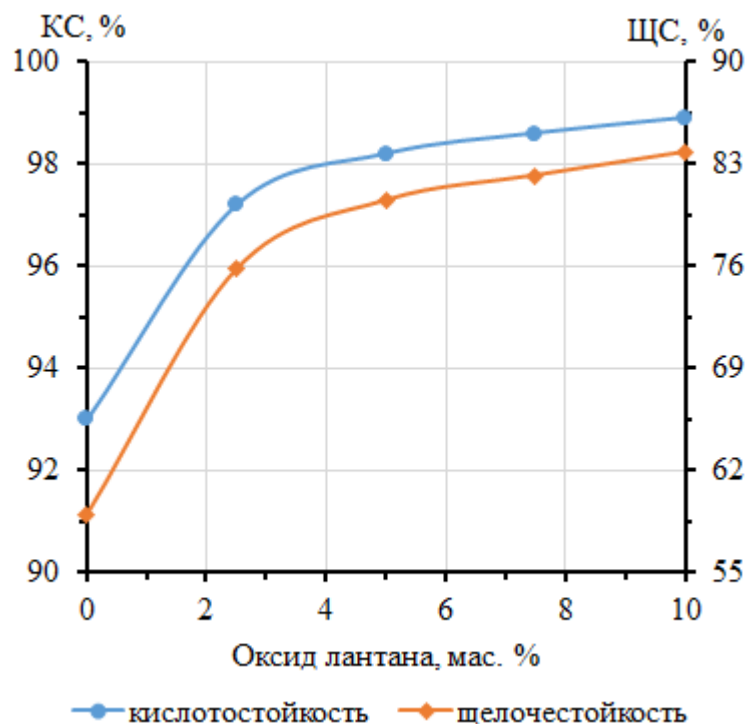


Рис. 1 – Влияние оксида лантана на кислотостойкость и щелочестойкость

Влияние добавки на указанные свойства можно объяснить переходом части оксида лантана в состав стекловидной фазы, создающей эффекты самоглазурования поверхности и остекловывания объема исследуемой керамики, вследствие флюсующего действия оксида бора, образуемого из борной кислоты, и оксида кальция, входящего в состав гальванического шлама и глины. При этом известно, что оксид лантана повышает кислотостойкость и щелочестойкость стекол [9], [10].

В результате дальнейшего проведения экспериментов выявлено, что с повышением количества оксида лантана наблюдается увеличение термостойкости и снижение доли открытых пор исследуемой керамики (см. рисунок 2).

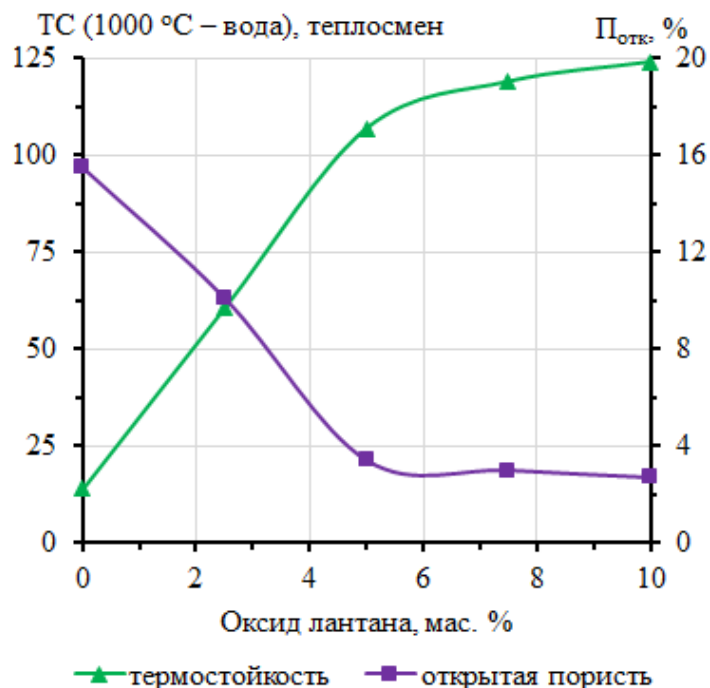


Рис. 2 – Влияние оксида лантана на термостойкость и открытую пористость

Характер представленных зависимостей объясняется тем, что наличие оксида лантана в составе стекловидной фазы повышает ее термостойкость [1], [9], и тем, что данный оксид является одним из источников стекловидной фазы, а, следовательно, и одной из причин возникновения эффекта самоглазурования, за счет которого большая часть открытых пор переводится в закрытые.

Участие оксида лантана в увеличении количества стекловидной фазы и создании эффекта остекловывания частиц способствует объединению частиц керамики в единый каркас посредством стекловидной фазы. Формирование такого каркаса в свою очередь приводит к росту прочностных характеристик керамики, что подтверждается полученными в результате эксперимента данными (см. рисунок 3).

Снижение доли открытых пор за счет эффекта самоглазурования, получаемого при участии оксида лантана, приводит к снижению водопоглощения, а, следовательно, к повышению морозостойкости исследуемой керамики, что подтверждается полученными зависимостями данных свойств от количества оксида лантана (см. рисунок 4).

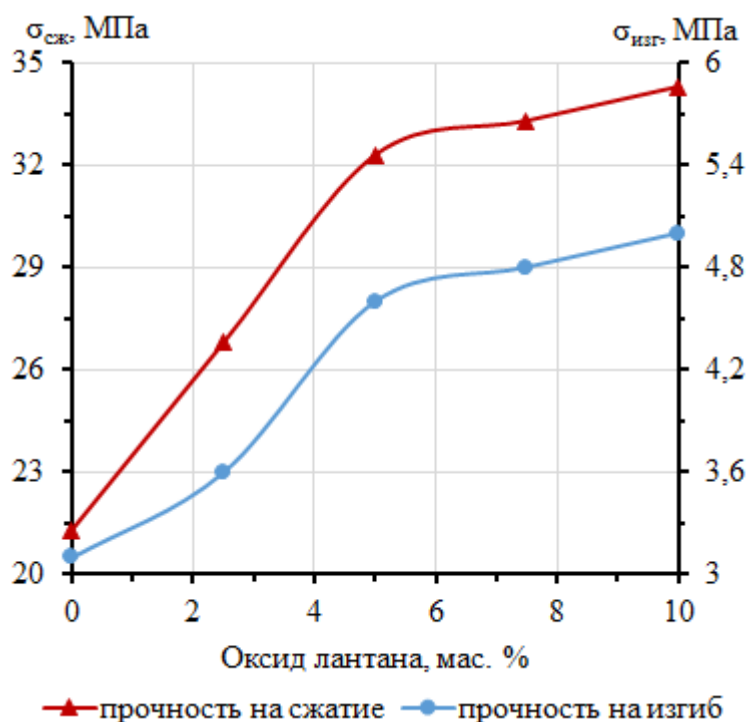


Рис. 3 – Влияние оксида лантана на прочностные характеристики

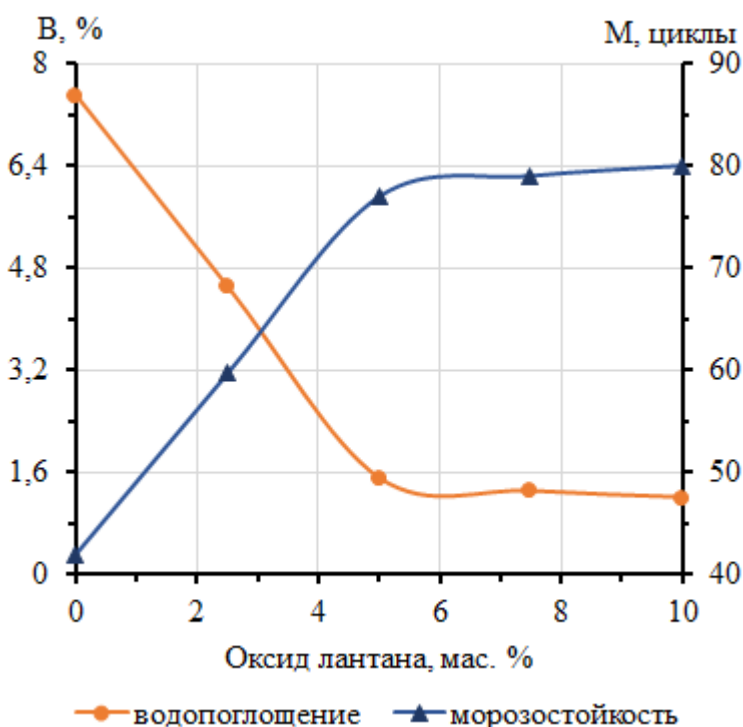


Рис. 4 – Влияние оксида лантана на водопоглощение и морозостойкость

### Обсуждение

Таким образом, оксид лантана позволяет повысить химическую и термическую стойкость, прочность и морозостойкость при снижении открытой пористости и водопоглощения изделий. Наибольшее повышение химической стойкости керамики происходит при введении до 2,5 мас. % оксида лантана, а наибольшее повышение термостойкости, прочности и морозостойкости достигается при введении до 5 мас. % исследуемой добавки. Стоит отметить, что при введении свыше 5 мас. % оксида лантана доля открытых пор практически не изменяется, то есть данное количество добавки позволяет перевести в закрытые все достаточно крупные открытые поры, а в более мелкие поры образующийся расплав проникнуть не может из-за недостаточно низкой вязкости. Вследствие этого при введении большего количества оксида лантана водопоглощение и морозостойкость изменяются незначительно. В связи с этим и с учетом того, что введение оксида лантана повышает себестоимость шихты, количество данной добавки было ограничено 5 мас. %.

**Заключение**

По итогам данной работы определено, что оксид лантана в количестве 5 мас. % может являться функциональной добавкой к шихте на основе малопластичной глины при дополнительном введении 5 мас. % борной кислоты и 5 мас. % гальванического шлама.

Полученный состав шихты позволяет использовать маловостребованную в производстве керамики глину с низкой пластичностью и применять гальванический шлам, являющийся опасным для окружающей среды отходом, утилизация которого мало распространена, является трудоемкой и энергоемкой задачей.

Полученные значения основных эксплуатационных свойств в наибольшей степени подходят для применения полученного керамического материала в производстве клинкерных и кислотоупорных изделий для возведения, наружной и внутренней облицовки фундаментов и стен промышленных зданий, а также для футеровки дымоходов и газопроводов.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Виткалова И.А. Использование отходов, содержащих тяжелые металлы, для получения кислотоупорной керамики с эффектом самоглазурования / И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов и др. // Экология промышленного производства. – 2018. – № 2. – С. 2–6.
2. Андрианов Н.Т. Химическая технология керамики: Учеб. пособие для вузов / Н.Т. Андрианов, В.Л. Балкевич, А.В. Беляков и др.; Под ред. И.Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2011. – 496 с.
3. Вакалова Т.В. Исследование природного сырья для производства кислотостойких материалов / Т.В. Вакалова, И.Б. Ревва, А.В. Адыкаева // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8-3. – С. 556-560. – URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31956> (дата обращения: 09.09.2019).
4. Гаршин А.П. Материаловедение. Техническая керамика в машиностроении: учебник для академического бакалавриата / А. П. Гаршин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2017. – 296 с.
5. Торлова А.С. Разработка состава шихты для получения термостойкой керамики / А.С. Торлова, И.А. Виткалова, Е.С. Пикалов и др. // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 10. – С. 126–130. – URL: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37207> (дата обращения: 09.09.2019).
6. Шахова В.Н. Получение облицовочной керамики с использованием несортированного боя тарных стекол / В.Н. Шахова, И.А. Виткалова, А.С. Торлова и др. // Экология и промышленность России. – 2019. – № 2. – С. 36–41.
7. Шахова В.Н. Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины / В.Н. Шахова, А.В. Березовская, Е.С. Пикалов и др. // Стекло и керамика. – 2019. – № 1. – С. 13–18.
8. Перовская К.А. Применение полимерных отходов для повышения энергоэффективности стеновой керамики / К.А. Перовская, Д.Е. Петрина, Е.С. Пикалов и др. // Экология промышленного производства. – 2019. – №1. – С. 7–11.
9. Станцо В.В. Популярная библиотека химических элементов. Книга первая: водород – палладий / В.В. Станцо, М.Б. Черненко; Общ. ред. Петрянов-Соколов И.В. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1983. – 575 с.
10. Постников В.С. Оптическое материаловедение: курс лекций / В.С. Постников. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 280 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Vitkalova I.A. Ispol'zovanie othodov, soderzhashchih tyazhelye metally, dlya polucheniya kisloutopornoj keramiki s effektom samoglazurovaniya [Application of waste containing heavy metals to produce acid-resistant ceramic with self-glazing effect] / I.A. Vitkalova, A.S. Torlova, E.S. Pikalov and others // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva [Ecology of industrial production]. – 2018. – № 2. – P. 2–6. [in Russian]
2. Andrianov N.T. Himicheskaya tekhnologiya keramiki [Chemical technology of ceramics]: Textbook for universities / N.T. Andrianov, V.L. Balkevich, A.V. Belyakov and others; Eds. I.Ya. Guzman. – M.: ООО RIF «Strojmaterialy», 2011. – 496 p. [in Russian]
3. Vakalova T.V. Issledovanie prirodnogo syr'ya dlya proizvodstva kislotosojkikh materialov [Research of natural raw materials for the production of acid-resistant materials] / T.V. Vakalova, I.B. Revva, A.V. Adyakaeva // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental research]. – 2013. – №8-3. – P. 556–560. – URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31956> (accessed: 09.09.2019). [in Russian]
4. Garshin A.P. Materialovedenie. Tekhnicheskaya keramika v mashinostroenii [Materials science. Technical ceramics in mechanical engineering]: textbook for academic undergraduate / A. P. Garshin. – 2 ed., rev. and exp. – M.: Yurajt, 2017. – 296 p. [in Russian]
5. Torlova A.S. Razrabotka sostava shihty dlya polucheniya termostojkoj keramiki [Development of the composition of the charge for heat-resistant ceramics] / A.S. Torlova, I.A. Vitkalova, E.S. Pikalov and others // Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern high technology]. – 2018. – № 10. – С. 126–130. – URL: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37207> (accessed: 09.09.2019) . [in Russian]
6. Shakhova V.N. Poluchenie oblicovochnoj keramiki s ispol'zovaniem nesortirovannogo boya tarnyh stekol [Receiving of ceramic veneer with the use of unsorted container glass breakage] / V.N. Shakhova, I.A. Vitkalova, A.S. Torlova and others // Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]. – 2019. – №2. – P. 36–41. [in Russian]
7. Shakhova V.N. Razrabotka oblicovochnogo keramicheskogo materiala s effektom samoglazurovaniya na osnove maloplastichnoj gliny [Development of Self-Glazing Ceramic Facing Material Based on Low-Plasticity Clay] / V.N. Shakhova, A.V. Berезovskaya, E.S. Pikalov and others // Steklo i keramika [Glass and Ceramic]. – 2019. – № 1. – P. 13–18.
8. Perovskaya K.A. Primenenie polimernyh othodov dlya povysheniya energoeffektivnosti stenovoj keramiki [Application of polymer waste for improvement the energy efficiency of wall ceramics] / K.A. Perovskaya, D.E. Petrina, E.S. Pikalov and others // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva [Ecology of industrial production]. – 2019. – №1. – P. 7–11. [in Russian]
9. Stanco V.V. Populyarnaya biblioteka himicheskikh elementov. Kniga pervaya: vodorod – palladij [Popular library of chemical elements. Book one: hydrogen-palladium] / V.V. Stanco, M.B. Chernenko; Common. ed. Petryanov-Sokolov I.V. – 3 ed., rev. and exp. – M.: Nauka, 1983. – 575 p. [in Russian]
10. Postnikov V.S. Opticheskoe materialovedenie: kurs lekcij [Optical Materials Science: Lecture Course] / V.S. Postnikov. – Perm: publishing house Perm. nac. issled. politekhn. un-ta, 2013. – 280 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.007>

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОРСА ПО ЗАРЯДАМ, ПОЛУЧЕННЫМ ПРИ КОНТАКТЕ С ЭЛЕКТРОДОМ

Научная статья

**Шляхтенко П.**

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,  
Санкт-Петербург, Россия

\* Корреспондирующий автор (pavelshl2012[at]yandex.ru)

### Аннотация

Исследуемый метод относится к методам контроля качества однородных частиц, например частиц ворса, использующихся при нанесении покрытий в сильных электрических полях. Целью настоящего исследования является сокращение времени измерения. Цель достигается благодаря тому, что электрически заряженные частицы рассеиваются в неоднородном электрическом поле, созданном криволинейными электродами, симметричными относительно вертикальной оси. Электрическое поле имеет минимальное значение на этой оси в горизонтальном сечении. Частицы пропускают через отверстие, совпадающее с осью симметрии электрического поля в верхнем электроде, измеряют суммарный заряд на коллекторе, установленном на разной высоте относительно верхнего электрода, и вычисляют функцию распределения заряда частиц. В работе представлены экспериментальные данные, полученные на образце нейлонового ворса, который используют для нанесения ворсовых покрытий методом электровыравнивания. Результаты подтверждают эффективность предложенного метода.

**Ключевые слова:** электро-флокирование; контроль качества ворса; движение заряженных волокон в неоднородном электрическом поле, симметричном относительно вектора гравитационного поля.

## THE METHOD OF MEASURING THE DENSITY OF THE PILE DISTRIBUTION ACCORDING TO THE CHARGES OBTAINED UPON CONTACT WITH THE ELECTRODE

Research article

**Shlyakhtenko P. \***

St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, St. Petersburg, Russia

\* Corresponding author (pavelshl2012[at]yandex.ru)

### Abstract

The considered method relates to the methods of quality control of homogeneous particles, such as pile, used when applying coatings in strong electric fields. The aim of the invention is to reduce the measurement time. The goal is achieved by the fact that electrically charged particles are dispersed in a non-uniform electric field created by curvilinear electrodes that are symmetrical about the vertical axis. The electric field has a minimum value on this axis in any horizontal section. Particles are passed through a hole in the upper electrode, which coincides with the axis of symmetry of the electric field, measure the total charge transferred to the collector installed at different heights relative to the upper electrode, and calculate the distribution function of the particle charge. Experimental data obtained on a sample of nylon pile used in applying pile coatings by electro-floating method, which prove the efficiency of the proposed method, are presented.

**Keywords:** Electro-Flocking; Quality Control of Pile; the Movement of Charged Fibers in a Non-Uniform Electric Field, Symmetric with Respect to the Gravity Field Vector.

### Introduction

One of the main criteria for the quality of a pile coating, obtained by electro-floating, is the bond strength of the pile with the adhesive base, which is largely determined by the kinetic energy of an individual fiber at the adhesive surface. Such energy depends on the specific modes of electro-flocking and increases with an increase in the excess charge on the fiber [1].

It is obvious that the quality of the pile coating to a lesser degree also depends on the magnitude of the statistical scatter of the fibers over the kinetic energies of the adhesive base, which is determined by the density distribution function of the fibers over the excess charges produced by the fibers during their charging. Unfortunately, until the advent of [2], there were no methods and devices for measuring this function.

In Figure 1 shows a diagram of a device [3] that implements the original method proposed in [2].



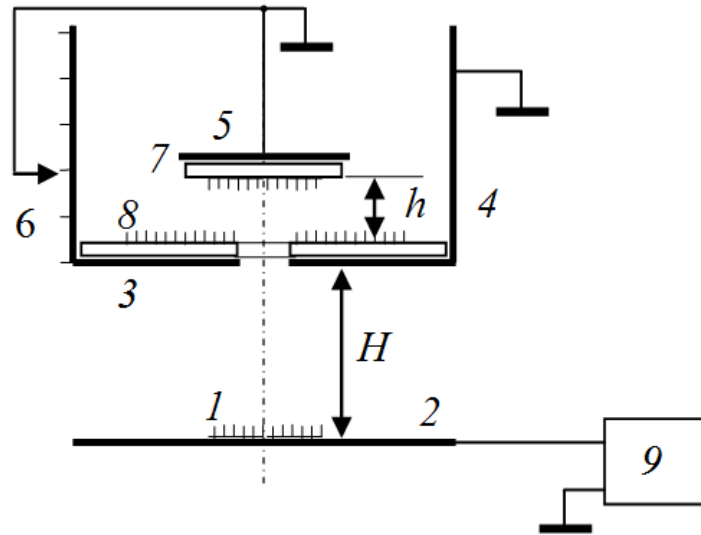


Fig. 1 – Device diagram

The studied fibers 1, which received a charge  $q$  in contact with the lower horizontal electrode 2, under the influence of an electric field of intensity  $E = U / H$  (where  $U$  is the voltage between electrodes 2 and 3) move to the upper electrode 3, acquiring from this electrode kinetic energy  $W_k$ . Fibers flying with this energy through the hole in the electrode 3 fall into the Faraday cup 4, where there is no electric field. They continue their inertial motion in the field of gravity, rising to a height that is determined by the value of  $W_k$ . A collector 5, mounted at a height  $h$ , collects the fibers flying to it, and a pointer 6 registers the height of the collector's location above the upper electrode  $h$ .

By measuring under the same initial conditions the number of fibers reaching the collector ( $N_h$ ), installed sequentially at different heights, we can construct the dependence of the relative number of flying fibers  $N_h / N_0$  on  $h$  for a given type of fiber. Differentiating this curve with respect to  $h$ , we obtain a normalized curve of the fiber distribution density with respect to this quantity, i.e., the dependence

$$f(h) = \frac{d(N_h / N_0)}{dh} = \frac{dn}{dh} = \frac{1}{N_0} \frac{dN_h}{dh}. \quad (1)$$

From theoretical and experimental data obtained in [4], [5], it follows that the force of resistance to the movement of fibers in an electric field from the side of air at normal pressure and charging a short pile on the lower electrode can be neglected.

Then we can write the law of conservation of its energy for the moments of its passage through the hole in the upper electrode and at the point of maximum rise

$$W_k = mgh. \quad (2)$$

Differentiating (2) with respect to  $h$ , we obtain

$$\frac{dW_k}{dh} = mg. \quad (3)$$

Then, for the distribution density of the fibers over their kinetic energies at the upper electrode, taking into account (3), we can write

$$f(h) = \frac{dn}{dW_k} \frac{dW_k}{dh} = \frac{dn}{dW_k} mg. \quad (4)$$

It follows from formula (4) that for the distribution over  $W_k$  the formula

$$\frac{dn}{dW_k} = \frac{1}{mg} f(h). \quad (5)$$

The total energy spent by the rectifier 9 on the acceleration of the fiber in an electric field between the electrodes 2, 3 is equal to  $qU$ .

According to the law of conservation of energy without taking into account the resistance forces of the medium, taking into account (2) it follows:

$$qU = W_k + mgh = mgh + mgh. \quad (6)$$

Divide (6) by  $mU$ :

$$\frac{q}{m} = \frac{gh}{U} + \frac{gH}{U}. \quad (7)$$

Then, for the distribution  $f(h)$ , taking into account (7), we can write:

$$f(h) = \frac{dn}{d(\frac{q}{m})} \frac{d(\frac{q}{m})}{dh} = \frac{g}{U} \frac{dn}{d(\frac{q}{m})}. \quad (8)$$

From formula (8) we obtain the expression for the density of distribution of fiber-con on specific charges:

$$\frac{dn}{d(\frac{q}{m})} = \frac{U}{g} f(h). \quad (9)$$

А из формулы (8) сразу получается формула для плотности распределения волокон по зарядам:

$$\frac{dn}{dq} = \frac{U}{mg} f(h). \quad (10)$$

The elements of the device according to the proposed method have the following design features: electrode 3, cylinder 4 and collector 5 must be under the same potential; the collector 5 is installed above the hole in the electrode 3, coaxially with it and the cylinder 4; the collector's receiving platform should be horizontal; the collector must have freedom of vertical movement, a device for fixing anywhere in the considered interval, and an indicator of the position of the collector's receiving platform above the upper electrode.

In the created device layout, the collector receiving platform 5 is a round metal plate to which a thin interchangeable conductive washer 7 is attached in electrical contact. A layer of liquid glue is applied to the upper and lower surfaces of this washer. On the outer surface of the upper electrode 3 in electrical contact with it, a round removable, adhesive-coated conductive washer 8 is superimposed with a hole corresponding to the hole in the electrode 3. After being kept in the electric field for each measured value of  $h$ , these washers with adhered fibers are removed and replaced with new ones.

The total number of fibers  $N_0$  is calculated by summing the number of fibers on the collector washer  $N$  of the upper electrode. The fiber count was carried out using a microscope.

In Figure 2 shows the experimental curves of the relative number of fibers recorded by the collector versus height  $h$ .

In Figure 3 shows the dependences of the distributions normalized to the maximum density over  $h$ ,  $W_k$ ,  $q/m$ ,  $q$  for a pile with parameters:  $D = 50 \mu\text{m}$ ,  $l = 3 \text{ mm}$ ,  $m = 5,2 \times 10^{-6} \text{ g}$ . Scale recalculation along the corresponding abscissa axes was carried out according to formulas (4.22), (4.26), (4.27). The experiment was carried out at  $U = 7 \text{ kV}$  and a constant relative humidity of 100%.

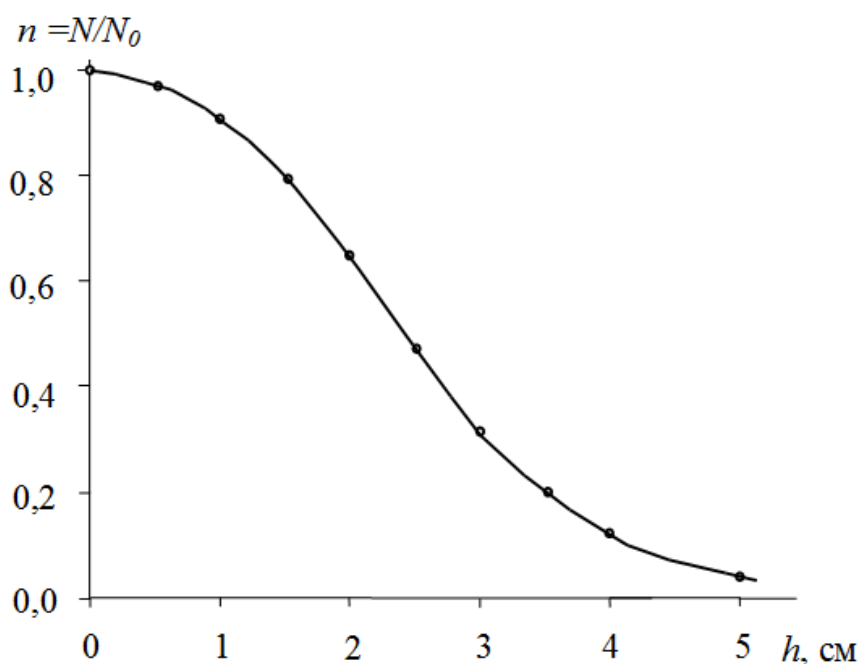


Fig. 2 – Dependence of  $N / N_0$  on  $h$

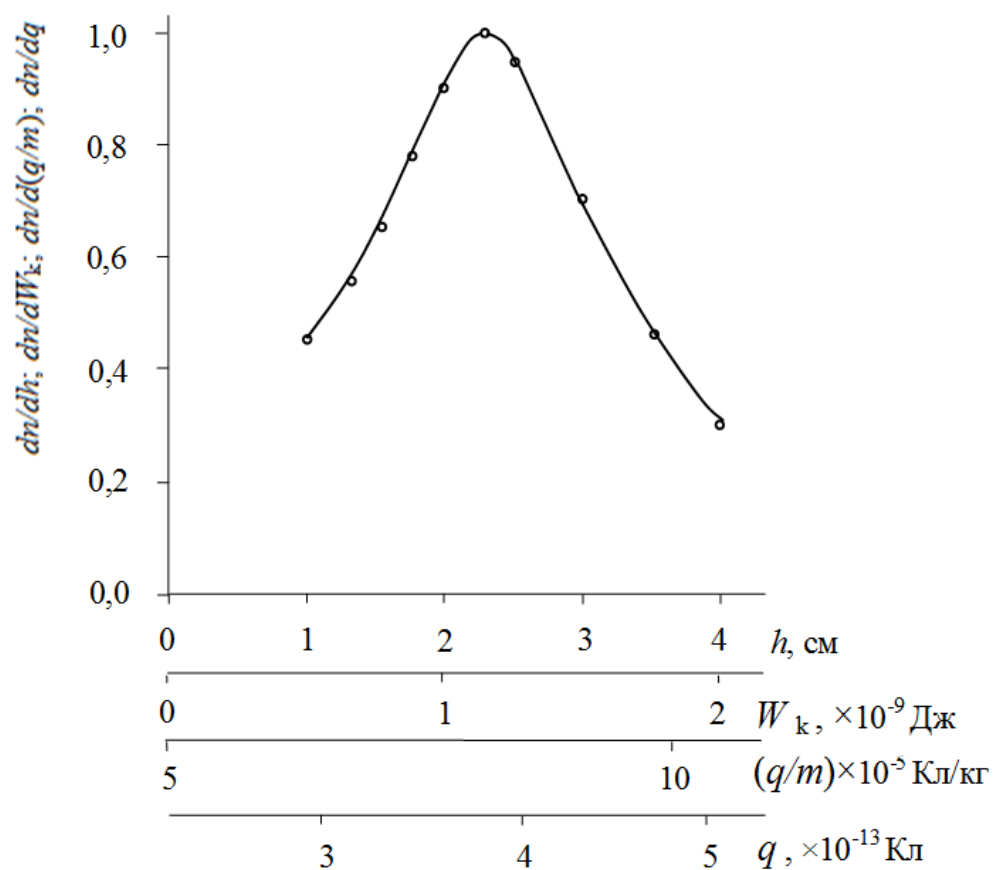


Fig. 3 – Density distribution functions of the pile over the rise height above the upper electrode ( $h$ ), the kinetic energy of the fiber at the upper electrode ( $W_k$ ), the specific charge on the fiber ( $q/m$ ), the charge on the fiber ( $q$ ) obtained by contact with the lower electrode

The disadvantage of the method [2] is the methodological difficulties and the duration of the counting of villi fixed on the washers 7 and 8 under a microscope.

## Results

This difficulty was overcome in the method proposed in [6] and described in [5].

In Figure 4 shows a diagram of a device according to this method, work on which proceeds as follows.

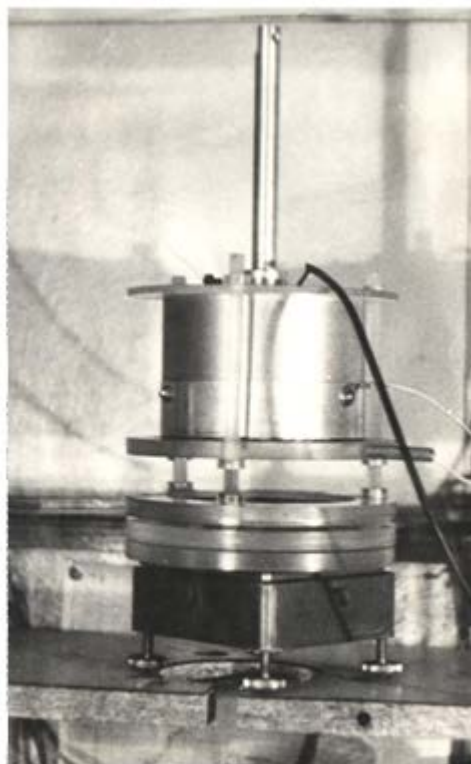
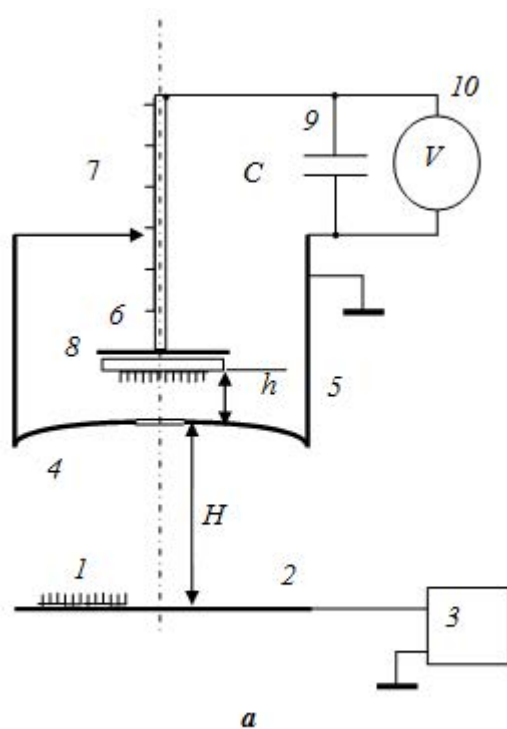


Fig. 4 – Diagram of the device (*a*) and the appearance of the measuring cell (*b*)

The fibers reaching the collector at the collector height above the upper electrode  $h$  are fixed in the same way using a thin adhesive washer 8, which transfers the excess charge of these fibers  $Q$  to a capacitor with a capacity of  $C$  (9). The voltage  $U$  on the capacitor is measured using an electro-static voltmeter 10, which is associated with the resulting charge by the formula

$$Q = (C + C_p)U \quad (11)$$

where  $C_p$  is the parasitic capacitance of the installation.

After that, the rectifier 3 is turned off. A new collector height is set above the upper electrode and the entire measurement cycle is repeated.

The advantage of the method under consideration [6] is that the entire fiber sample flies through the hole in the electrode 4, which makes it unnecessary, like the washer 8 in Figure 1 in the method [2], and the operation of counting the villi under the microscope on the washer 8 of collector 6 (Figure 5) in the method under consideration.

In Figure 5 shows the experimental dependence of  $Q/Q_0$  on  $h$  normalized to unity, obtained for a nylon pile with parameters:  $D = 50 \mu\text{m}$ ,  $l = 3 \text{ mm}$ ,  $m = 5.2 \times 10^{-6} \text{ g}$  on the device in Figure 4.

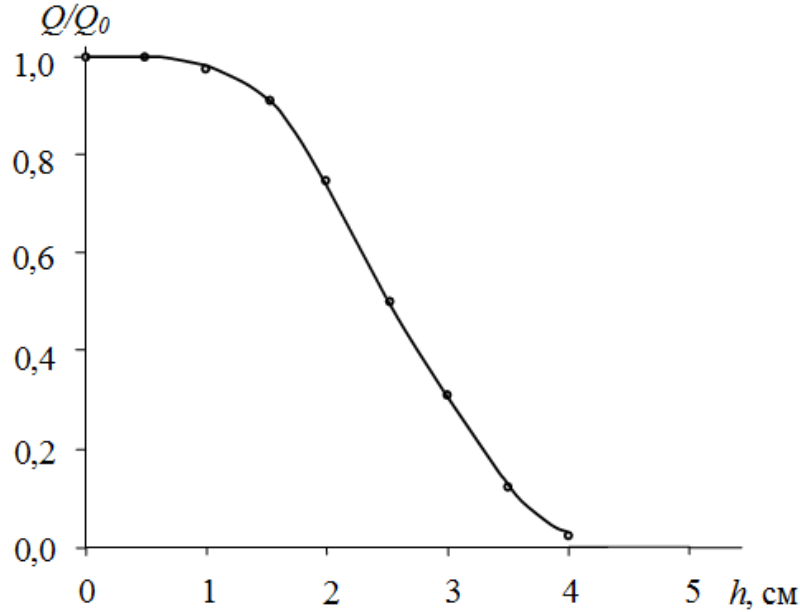


Fig. 5 – The dependence of  $Q/Q_0$  on  $h$

In Figure 6 shows the normalized dependence of  $1/Q_0 \times dQ/dh$  on  $h$  obtained by graphical differentiation of the dependence shown in Figure 5.

From formula (6) it follows

$$q = \frac{mg(h+H)}{U} \quad (12)$$

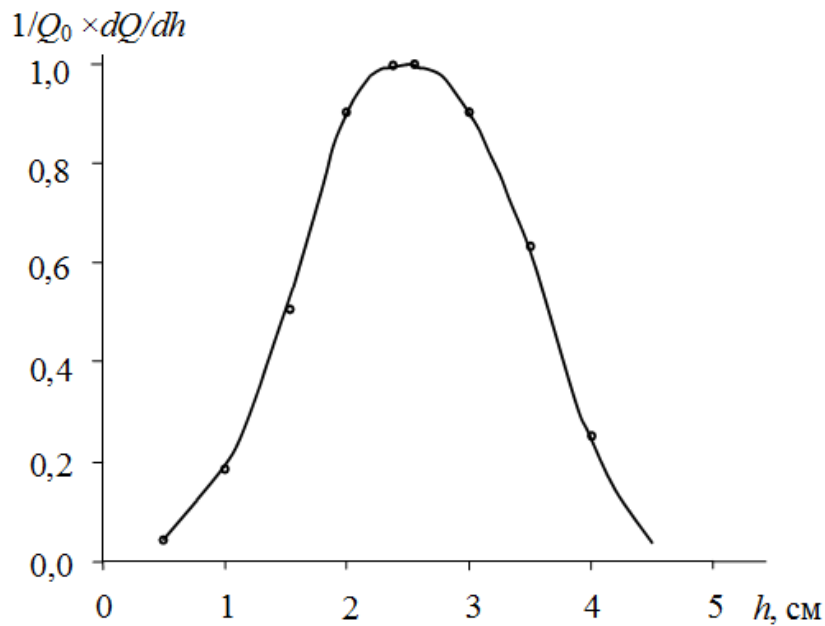


Fig. 6 – Dependence  $1/Q_0 \times dQ/dh$  on  $h$

Then the derivative of the dependence presented in Figure 5,

$$\frac{dQ}{dh} = q \frac{dN}{dh} = \frac{mg(h+H)}{U} \frac{dN}{dh} \frac{N_0}{N_0} = \frac{mg(h+H)N_0}{U} f(h). \quad (13)$$

Formula (13) implies the desired density distribution function of the number of fibers over the height  $h$ :

$$f(h) = \frac{U}{mg(h+H)} \left( \frac{dQ}{dh} \right). \quad (14)$$

Such a distribution calculated by formula (14) and the data in Figure 6 is presented in Figure 7.

Comparison of data Figure 7, constructed by the proposed method, with the data of Figure 3, obtained by the method of [2], shows that these curves are close to each other.

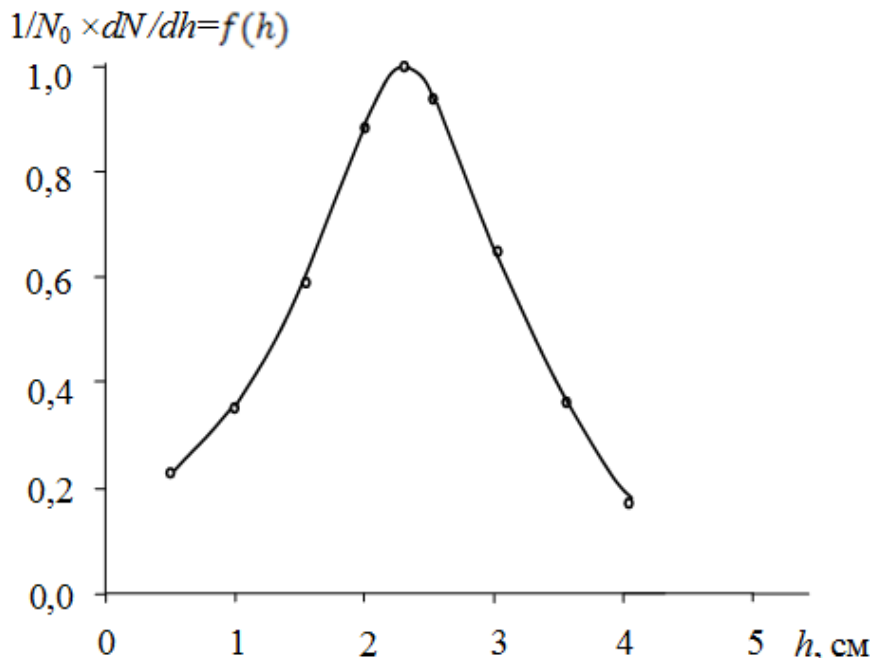


Fig. 7 – Dependence  $1/N_0 \times dN/dh$  on  $h$

The desired distribution  $\frac{dn}{dw_k}$ ;  $\frac{dn}{d(q/m)}$ ;  $\frac{dn}{dq}$  can be calculated from the data in Figure 7 using formulas (5), (9) and (10).

In the method under discussion, all fibers reaching the collector are charged by contact with the lower electrode under almost identical conditions. As a result, identical cylindrical fibers would have to receive approximately the same charge, differing only due to differences in the positions of neighboring charging fibers in the immediate environment.

Therefore, the observed significant width of the distributions in Figure 3 and Figure 7 is determined by the author's opinion by the statistical scatter of the studied villi along the length, diameter [8] and geometry in the region of the fiber cut. It is these parameters, as shown in [5], that determine the amount of excess charge received by the fibers upon separation from the lower electrode.

#### Conclusion

1. On the original device and samples of the synthetic pile used for electroflocking, the efficiency of the method is shown.
2. The time required to obtain one distribution curve by the considered method is two hundred times less than when using the method described in the prototype [3].
3. The discussed method can be used to control any identical quasi-dielectric particles used for coating in an electrostatic field.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Бершев, Е.Н. Электрофлокирование / Е. Н. Бершев. – М.: Легкая индустрия – 1977 – 232 с.
2. А.с. № 740292 (СССР). МКИ2 в 05 в 5 /02; G 01 N 27/00. Устройство для измерения энергетического распределения волокон при электрофлокировании / П. Г. Шляхтенко и Е. Н. Бершев. Опубл. 15.06.80. Бюл. № 22.
3. Шляхтенко П. Г. Измерение распределения ворса по энергиям на верхнем электроде электрофлокатора / Шляхтенко П. Г., Бершев Е.Н. // Изв. вузов. Технология текст. пром., - 1980 - № 6 – С. 34 – 36.
4. Шляхтенко П. Г. Движение заряженных волокон в неоднородном электрическом поле / Шляхтенко П. Г., Г. П. Мещерякова. // Электричество – 1991 – №2 – С.54 – 57.
5. Шляхтенко П. Полеты ворса во сне и наяву / Шляхтенко П. // Проблемы электрофлокирования: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG.–2016.–192с.
6. Патент № 1707524 (РФ) G 01 N 27/60. Способ измерения распределения по зарядам однородных частиц, используемых при нанесении покрытий в электростатическом поле / Шляхтенко П.Г., Нечаев С.А. Опубл. 23.01.92. Бюл. № 3.

7. А.с. № 1024538 (СССР) Н 11/00. Способ получения ворсового материала / Шляхтенко П.Г., Бершев Е.Н., Фирсов Е.И. Опубл. 23.06.83. Бюл. № 23.

8. Семенов В. А. Теория и практика электрофлокирования / Семенов В. А. – М.: ВЗПИ, - 1992 – 151 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Bershev E.N. Elektroflokirovanie [Electro-flocking] / E.N. Bershev. – М.: Light Industry – 1977 – 232 p. [in Russian]
2. Patent No. 740292 (SSSR). MKI2 v 05 v 5 /02; G 01 N 27/00. Ustroistvo dlya izmereniya energeticheskogo raspredeleniya volokon pri elektroflokirovanii [Device for Measuring Energy Distribution of Fibers during Electro-flocking] / P. G. Shlyakhtenko and E. N. Bershev. Publ. 06/15/80. Bull. No. 22. [in Russian]
3. Shlyakhtenko P. G. Izmerenie raspredeleniya vorsa po energiyam na verkhnem elektrode elektroflokatora [Measurement of Energy Distribution of Pile on Upper Electrode of Electro-flocator] / Shlyakhtenko P. G., Bershev E.N. // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekst. Prom [Bulletin of Universities. Technology of Text. Industry] – 1980. – No. 6 – P. 34-36. [in Russian]
4. Shlyakhtenko P. G. Dvizhenie zaryazhennykh volokon v neodnorodnom elektricheskom pole [Movement of Charged Fibers in Inhomogeneous Electric Field] / Shlyakhtenko P. G., G. P. Meshcheryakova. // Elektrichestvo [Electricity] – 1991 – No. 2 – P.54 - 57. [in Russian]
5. Shlyakhtenko P. Polety vorsa vo sne i nayavu [Flight of Pile in a Dream and Reality] / Shlyakhtenko P. // Electro-flocking Issues: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG. – 2016. – 192 p. [in Russian]
6. Patent No. 1707524 (RF) G 01 N 27/60. Spособ izmereniya raspredeleniya po zaryadam odnorodnykh chastits, ispolzuemykh pri nanosenii pokrytii v elektrostaticheskom pole [Method for Measuring Charge Distribution of Homogeneous Particles Used for Coating in Electrostatic Field] / Shlyakhtenko P.G., Nechaev S.A. Publ. 01/23/92. Bull. No. 3. [in Russian]
7. Patent No. 1024538 (SSSR) N 11/00. Spособ polucheniya vorsovogo materiala [Method of Obtaining Pile Material] / Shlyakhtenko P.G., Bershev E.N., Firsov E.I. Publ. 06/23/83. Bull. No. 23. [in Russian]
8. Semenov V. A. Teoriya i praktika elektroflokirovaniya [Theory and Practice of Electro-flocking] / Semenov V. A. – М.: VZPI. – 1992 – 151 p. [in Russian]

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОКА НА УСТЬЕВЫХ УЧАСТКАХ РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ**

Научная статья

**Галиуллина А.А. \***

Институт управления, экономики и финансов КФУ, Казань, Россия

\* Корреспондирующий автор (litops05[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье рассмотрены гидрологические характеристики устьевых участков рек Республики Абхазия, впадающих в Чёрное море. В основе работы лежат практические данные полевых наблюдений проведенных в июле – августе с 2014 по 2017 гг. При полевых исследованиях на устьевых участках рек в поперечном сечении были измерены глубины и местные скорости в потоке. На основании полученных данных рассчитан расход воды для каждой реки. Данная статья может быть полезна широкому кругу лиц: студентам и специалистам, занимающимся гидрологией устьевых участков рек.

**Ключевые слова:** гидрология, устье, реки, Абхазия.

**RESEARCH OF QUANTITATIVE CHARACTERISTIC OF DRAIN ON ESTUARY SECTIONS OF RIVERS OF THE BLACK SEA COAST IN THE REPUBLIC OF ABKHAZIA**

Research article

**Galiullina A.A. \***

Institute of Management, Economics and Finance, Federal University, Department of Environmental Engineering and Water Management, Kazan, Russia

\* Corresponding author (litops05[at]mail.ru)

**Abstract**

The article considers hydrological characteristics of estuarine sections of the rivers of the Republic of Abkhazia that flow into the Black Sea. The work is based on practical data from field observations carried out in July-August from 2014 to 2017. During field studies in estuarine sections of rivers in cross section, the depths and local velocities in the stream were measured. Based on the data obtained, the water discharge for each river was calculated. This article may be useful to a wide range of people: students and specialists involved in the hydrology of estuarine sections of rivers.

**Keywords:** hydrology, estuary, rivers, Abkhazia.

Все воды рек стекают в океаны, моря и озера. Вливанием пресной воды в приёмный водоём замыкается очередной цикл круговорота воды. Этот процесс непрерывно длится миллиарды лет и будет продолжаться, пока существует наша планета [9, С. 5].

В последнее время сильно возрос уровень загрязнения приёмных водоёмов, что в свою очередь связано со стоком воды и наносов с прилегающей суши [8, С. 3]. Поступление различных загрязнителей в реки, озера, подземные воды часто происходит при отсутствии качественных мер по очистке и удалению вредных веществ. Особенно это заметно на реках горных районов. В зонах слияния речного потока с морем происходит накопление загрязняющих веществ, смытых реками с их бассейнов. Определение суммарного стока пресных вод стекающих в море позволяет определить количество поступающих загрязняющих веществ в Чёрное море за определенный период времени.

Для устьевых участков характерны определенные черты, связанные с ее водным режимом и влиянием со стороны моря приливов-отливов. В устьевой области реки на небольшом пространстве изменяются свойства воды. В устьях рек взаимодействуют две различающиеся по своим физическим, химическим и биологическим свойствам водные массы – речная и морская [2, С. 237]. Классификация свойств водных масс, взаимодействующих в устьевых областях рек, очень важна для понимания происходящих здесь процессов. И в первую очередь при анализе формирования природного комплекса устьевых областей рек важно учитывать динамическое взаимодействие и смешение вод реки и моря, отложение речных и частично морских наносов [3, С. 14], [5, С. 2]. Эти процессы составляют основное содержание в формировании природного облика устьевой области реки. Наибольшую сложность при гидродинамических исследованиях устьев рек представляют неоднородность потока по ширине, длине и глубине русла.

В данной статье рассматриваются 15 устьевых участков рек, впадающих в Чёрное море с побережья Республики Абхазия.

Абхазия расположена на северо-восточном побережье Чёрного моря, в северо-западной части Закавказья между реками Псоу и Ингур. Побережье длиной более 210 км мало изрезанное, часто встречаются широкие галечные пляжи [10].

Реки сравнительно коротки, все они относятся к бассейну Чёрного моря. Большая часть рек начинает свое течение в горных районах. К наиболее многоводным рекам относятся Кодор, Бзыбь, Кяласур и Гумиста.

Основное питание рек дождевое и снеговое. Режим питания рек неравномерен вследствие сезонного выпадения атмосферных осадков, таяния снега и льда и поступления этих вод в реки. Это сказывается в первую очередь на изменении уровня воды в реках. Изменения температурного режима, смена сезонов года вызывает колебания уровня рек, но эта периодичность нестрогая, и в годовом ходе наблюдается большое разнообразие глубин в реке. Амплитуда колебания уровня иногда превышает 1–2 м в сутки. Особенно сильно это заметно на малых реках. В то же время на



повышение или понижение уровня воды в реках могут повлиять ветровые явления, русловые деформации, зарастания русла, приливо-отливные процессы в устьях рек, а также искусственное регулирование стока. В среднем изменения уровня воды в реках имеют хорошо выраженный годовой закономерный ход [1, С. 74].

Расход воды и средняя скорость течения являются функцией уклона, гидравлического радиуса и шероховатости дна. С увеличением расхода воды и средней скорости течения возрастают пропускная способность потока и соответственно интенсивность движения наносов [6, С. 76].

В полевых условиях были получены замеры ширины, глубины и местных скоростей в поперечном сечении потока на исследуемых устьевых участках рек.

На промерных точках створа устьевых участков рек были проведены промеры глубин при помощи рейки. Количество промерных точек определялось в зависимости от ширины реки. По данным измерений были построены поперечные профили и рассчитаны площади живого сечения для каждой реки. Скорость течения реки в створе измерялись при помощи гидрометрической микровертушки «ГМЦМ-1». Промеры проводились на скоростных вертикалях в поперечном сечении рассматриваемого створа. На каждой вертикали измерялись средние скорости на различных глубинах, начиная от поверхности до дна. Расстояние между вертикалями определялись в пределах 1,5 – 3 м. Количество точек составляло в зависимости от глубины на расстоянии 0,2Н, 0,4Н, 0,6Н и 0,8Н от поверхности, а так же брались замеры у поверхности воды и у дна. На неглубоких речках по вертикалям производились одноточечные промеры.

По полученным данным было видно, что скорость от зеркала воды до дна уменьшается. Чтобы получить значение объема воды протекающего через поперечное сечение, расход рассчитывался отдельно для каждого участка между вертикалями с последующим их суммированием. При этом значения средних скоростей полученных на разных глубинах по вертикалям усреднялись [8, С. 44].

Количественные характеристики устьевых участков рек показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Количественные характеристики устьевых участков рек Абхазии, впадающих в Чёрное море

№	Название реки	Н, м	h <sub>ср</sub> , м	h <sub>max</sub> , м	V <sub>max</sub> , м/с	ω, м <sup>2</sup>	Q, м <sup>3</sup> /с
1	Кодор, у моста	145	2,03	3,5	1,3600	172,31	225
2	Келасур	35	0,53	1	1,0241	33,26	33,1
3	Галидзга	55	0,32	0,9	0,5398	21,38	9,13
4	Басла (Беслетка), русло	17,9	0,17	0,6	1,1490	4,79	3,62
5	Хыпста	16	0,36	0,7	0,5578	6,36	1,88
6	Басла (Беслетка)	35	0,69	1,43	0,1197	44,69	1,74
7	Дгамш	18,4	0,42	1,05	0,0881	11,07	1,05
8	Псыртсха	2,5	0,22	0,5	1,2428	0,77	0,73
9	Тамыш	4,8	0,09	0,15	1,0991	0,52	0,34
10	Ацквара	9	0,08	0,15	0,4984	0,88	0,23
11	Сухумка	2,4	0,06	0,23	1,0710	0,19	0,142
12	Мысра	1	0,1	0,1	0,7605	0,12	0,087
13	Цеера	0,8	0,02	0,06	0,6000	0,042	0,025
14	Эдырта	1,1	0,05	0,12	0,4319	0,08	0,019
15	Дзигута	1,9	0,03	0,1	0,3062	0,09	0,015

Кодор относится к одному из самых крупных рек Абхазии. По полученным же данным видно, что ширина реки на устьевом участке равна 145 м, площадь живого поперечного сечения 172,31 м<sup>2</sup>, расход воды 225 м<sup>3</sup>/с.

Из рассмотренных рек самое широкое устье у реки Кодор (145 м). Ширина реки Галидзга 55 метров, Келасур и Беслетка шириной 35 м.

Так же Кодор является самой глубокой рекой при глубине 3,5 м. У рек Басла 1,43 м, у Дгамш и Келасур наибольшая глубина равна одному метру, у Галидзга 0,9 м. У остальных рассматриваемых рек глубины составляют в пределах 0,06 – 0,7 м.

К рекам со скоростью течения более 1 м/с относятся реки Кодор (1,3600 м/с), Псыртсха (1,2428 м/с), Тамыш (1,0991 м/с), Сухумка (1,0710) и Келасур (1,0241 м/с). Самая меньшая скорость течения оказалась у рек Дгамш (0,0881 м/с), и у Баслы на устьевом участке (0,1197 м/с).

На устьевом поперечном створе реки Басла при ширине 35 м и глубине 1,43 м скорость небольшая 0,1197 м/с. Это связано с тем, что со стороны моря был сильный подпор из-за сильных волн, который повлиял на скорость течения потока в данном сечении. Так же были проведены замеры в нескольких километрах выше от устья, где при ширине реки 17,9 м и глубине 0,6 м скорость течения равен 1,149 м/с. Таким образом, расход на устьевом участке реки составило 1,74 м<sup>3</sup>/с и выше по течению 3,62 м<sup>3</sup>/с.

Самыми маленькими речками по ширине, глубине и расходу являются Мысра, Цеера, Дзигута и Эдырта, где расход в среднем составляет 0,04 м<sup>3</sup>/с (0,02 – 0,08 м<sup>3</sup>/с), глубина до 0,12 м, ширина до 1,9 м.

Наибольший расход у реки Кодор 225 м<sup>3</sup>/с. У Келасур он равен 33,1 м<sup>3</sup>/с, что практически в семь раз меньше, чем у реки Кодор. У остальных рек, таких как, Хыпста, Басла, Дгамш лежит в пределах 1,05 – 1,88 м.

Если рассматривать суммарный сток данных пятнадцати рек, то он составит 277,1 м<sup>3</sup>/с. Из них 225 м<sup>3</sup>/с реки Кодор, а на оставшиеся четырнадцать рек приходится суммарно 52,1 м<sup>3</sup>/с. Что составляет примерно ¼ часть величины потока р.Кодор.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Уразметов И.А. Гидрология рек: учебное пособие/ И.А. Уразметов; под ред. проф. И.Т.Гайсина. – Казань, 2007. – 95 с.
2. Михайлов В.Н. Общая гидрология./В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. 2-е изд. испр. – М.: Высшая школа. 2007. – 463 с.
3. Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек / В.Н. Михайлов. – Москва: Издательство МГУ, 1998. – 176 с.
4. Винников С.Д. Гидрофизика / С.Д. Винников, Б.В. Проскуряков. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 248 с.
5. РД 52.10.324-92 Методические указания. Гидрологические наблюдения и работы на гидрометеорологической сети в устьевых областях рек. М.: Гидрометеиздат, 1993. – 189 с.
6. Елфимов В.И. Изменение устьевых участков рек в период прохождения волны половодья: Учеб. пособие. / В.И. Елфимов. – М.: РУДН, 2008. – 222 с.
7. Караушев А.В. Речная гидравлика. / А.В. Караушев. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 415 с.
8. Карасев И. Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. / И.Ф.Карасев. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 310 с.
9. Джоашвили Шалва. Реки Чёрного моря [Электронный ресурс] / Джоашвили шалва //Технический отчет, 2002. – 58 с. – URL: [https://eknigi.org/estestvennye\\_nauki/138875-reki-chernogo-morya.html](https://eknigi.org/estestvennye_nauki/138875-reki-chernogo-morya.html) (дата обращения: 07.11.2017).
10. Абхазия [Электронный ресурс] / – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Абхазия#cite\\_note-AM2010-2](https://ru.wikipedia.org/wiki/Абхазия#cite_note-AM2010-2) (дата обращения: 10.11.2017).

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Urazmetov I.A. Gidrologiya rek: uchebnoe posobie [River Hydrology: Training Manual] / I.A. Urazmetov; under the editorship of prof. I.T. Gaysin. – Kazan, 2007. – 95 p. [in Russian]
2. Mikhailov V.N., Dobrovolskii A.D., Dobrolyubov S.A. Obshchaya gidrologiya [General Hydrology]/ V.N. Mikhailov, A.D. Dobrovolsky, S.A. Dobrolyubov. 2nd ed. corrected – M.: Higher School. 2007. – 463 p. [in Russian]
3. Mikhailov V.N. Gidrologicheskie protsessy v ustyakh rek [Hydrological Processes in River Mouths] / V.N. Mikhailov. – Moscow: MSU Publishing House, 1998. – 176 p. [in Russian]
4. Vinnikov S.D. Proskuryakov B.V. Gidrofizika [Hydrophysics] / S.D. Vinnikov, B.V. Proskuryakov. – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 248 p. [in Russian]
5. RD 52.10.324-92 Metodicheskie ukazaniya. Gidrologicheskie nablyudeniya i raboty na gidrometeorologicheskoi seti v ustyevykh oblastiakh rek [RD 52.10.324-92 Guidelines. Hydrological Observations and Work on Hydrometeorological Network in Estuarine Areas of Rivers]. М.: Гидрометеиздат, 1993. – 189 p. [in Russian]
6. Elfimov V.I. Izmenenie ustyevykh uchastkov rek v period prokhozhdeniya volny polovodya: Ucheb. posobie. [Change in Estuarine Sections of Rivers During the Flood Wave: Textbook] / V.I. Elfimov. - M.: RUDN University, 2008. – 222 p. [in Russian]
7. Karaushev A.V. Rechnaya gidravlika. [River Hydraulics] / A.V. Karaushev. – L.: Gidrometeoizdat, 1969. – 415 p. [in Russian]
8. Karasev I. F. Rechnaya gidrometriya i uchet vodnykh resursov. [River Hydrometry and Accounting of Water Resources] / I.F. Karasev. – L.: Gidrometeoizdat, 1980. – 310 p. [in Russian]
9. Dzhoshvili Shalva. Reki Chornogo morya [Electronic resource] [Black Sea Rivers] / Joashvili Shalva // Technical Report, 2002. – 58 p. – URL: [https://eknigi.org/estestvennye\\_nauki/138875-reki-chernogo-morya.html](https://eknigi.org/estestvennye_nauki/138875-reki-chernogo-morya.html) (accessed: 07.11.2017). [in Russian]
10. Abkhazia [Abkhazia] [Electronic resource] – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Абхазия#cite\\_note-AM2010-2](https://ru.wikipedia.org/wiki/Абхазия#cite_note-AM2010-2) (accessed: 10.11.2017). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.009>**РЕЛЬЕФ МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА КАК РЕЗУЛЬТАТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМЛИ**

Научная статья

**Лухнева О.Ф.<sup>1,\*</sup>, Новопашина А.В.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-9930-1871;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-1138-6706;<sup>1,2</sup> Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

\* Корреспондирующий автор (olgal[at]crust.irk.ru)

**Аннотация**

Морфоструктурные особенности Монголо-Сибирского региона представляют большой интерес с точки зрения исследования динамики неотектонического развития, значительный вклад в которое вносят современные вертикальные и горизонтальные движения. В данной работе проведен геоинформационный анализ цифровой модели рельефа, выделены области денудации и аккумуляции осадочных пород. Пространственная конфигурация выделенных областей является результатом комплексного взаимодействия твердой оболочки Земли и ее атмосферы. Объем масс, сгенерированный в областях сноса и аккумуляции, характеризует сложную структуру экзогенно-активного слоя, на который воздействует комплекс экзогенных процессов. Результаты проведенного анализа поверхности позволяют в первом приближении оценить соотношение толщины литосферы и астеносферы в областях с различными условиями седиментогенеза.

**Ключевые слова:** рельеф, снос, аккумуляция, экзогенно-активный слой.

**LANDSCAPE OF THE MONGOL-SIBERIAN REGION AS A RESULT OF INTERACTION OF EXTERNAL AND INTERNAL EARTH PROCESSES**

Research article

**Lukhneva O.F.<sup>1,\*</sup>, Novopashina A.V.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-9930-1871;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0003-1138-6706;<sup>1,2</sup> Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia

\* Corresponding author (olgal[at]crust.irk.ru)

**Abstract**

The morphostructural features of the Mongol-Siberian region are of great interest when it comes to the study of the dynamics of neo-tectonic development, a significant contribution to which is made by modern vertical and horizontal movements. In this work, the geo-information analysis of a digital elevation model is carried out, and areas of sedimentation and denudation are highlighted. The spatial configuration of the selected regions is the result of the complex interaction of the Earth's hard shell and its atmosphere. The mass volume generated in the areas of drift and accumulation characterizes the complex structure of the exogenously active layer, which is affected by a complex of exogenous processes. The results of the surface analysis allow, to a first approximation, estimating the ratio of the thickness of the lithosphere and asthenosphere in areas with different conditions of sedimentogenesis.

**Keywords:** landscape, drift, accumulation, exogenously active layer.

**Введение**

Монголо-Сибирский регион является на настоящий момент малоизученным в аспекте количественного анализа рельефа и изучения геоморфологических параметров природных изменений.

Целью данного исследования является районирование территории по геоморфологическим признакам и выявления взаимосвязи геодинамических и атмосферных процессов. В работе предпринята попытка исследования рельефа Монголо-Сибирского региона на базе цифровой модели рельефа Азии с разрешением 1 минута, на площадь, ограниченной координатами 40°–60° с.ш., 80°–120° в.д. (ГТОР030) [11]. Рассматриваемый район отличается большим многообразием форм рельефа, как положительных, так и отрицательных. Не вдаваясь в геолого-геоморфологическую эволюцию рельефа, отметим, что в его структурах можно выделить крупные ландшафты высокогорий, плоскогорий (выше 1000 м), невысоких плато (ниже 1000 м) и низменностей. Основными неотектоническими формами изучаемой территории являются Сибирская платформа с Верхоненской высотной ступенью, Патомским поднятием, большими сводами: Становым, Восточно-Саянским, Олекминского Становика, Хэнтэйским, Восточно-Забайкальским, Большого Хангана и Хангайским. Исследуемый регион включает часть Восточно-Монгольской равнинно-платформенной области. Наиболее сложный комплекс неотектонических форм характеризует Байкальскую рифтовую зону (БРЗ) с ее последовательностью впадин, разделенных поднятиями (межвпадинными перемычками) и ограниченными крупными тектоническими разломами, а так же Алтайскую горную область, представляющую собой высокогорную часть Монголии. Ущелья с отвесными склонами, скалы и осыпи характерны для Прихубсугульского и Хубсугульского районов. Котловина Больших озер, Дархатская котловина и Орхоно-Селенгинский бассейн характеризуются обширными долинами.

Перечисленные разноуровневые морфоструктуры, с характерными особенностями высотной поясности и яркости, формируют Монголо-Байкальский подвижный пояс. Она является универсальным трехмерным геолого-географическим пространством, с системно дифференцированными планетарно-космическими связями и

взаимодействием эндогенных и экзогенных процессов. Методический подход к изучению эволюции развития этой сложноорганизованной системы подразумевает синтез геологии, геоморфологии, климатологии, поиск пространственных и временных методов исследования для обоснования географо-климатических трендов и анализа рельефа и рельефообразующих процессов [6].

#### Методика

Территория Монголо-Сибирского региона была покрыта системой параллельных субмеридиональных топопрофилей, расположенных на расстоянии 100 км друг от друга. Расположение топопрофилей обусловлено ориентировкой главных структурных элементов рельефа рассматриваемой территории. В результате обработки массива данных получено 3200 топопрофилей протяженностью 100 км. Каждый профиль содержит одну тысячу высотных отметок, которые стали основой для анализа и геопространственных построений. Для отдельного топопрофиля составлено линейное уравнение регрессии и определен коэффициент аккумуляции и сноса:  $y = bx + a$ , где  $y$  – значение аккумуляции и сноса;  $a$  – средняя высота в профиле (м);  $b$  – коэффициент регрессии;  $x$  – переменная высотная отметка в профиле (м).

Для построения карты изолиний областей сноса и аккумуляции, использовано выражение для определения коэффициента сноса и аккумуляции:  $k = a - y$ , где  $k$  – коэффициент сноса и аккумуляции.

На рис. представлена карта областей сноса и аккумуляции рассматриваемой территории, составленная по параметру  $k$ .

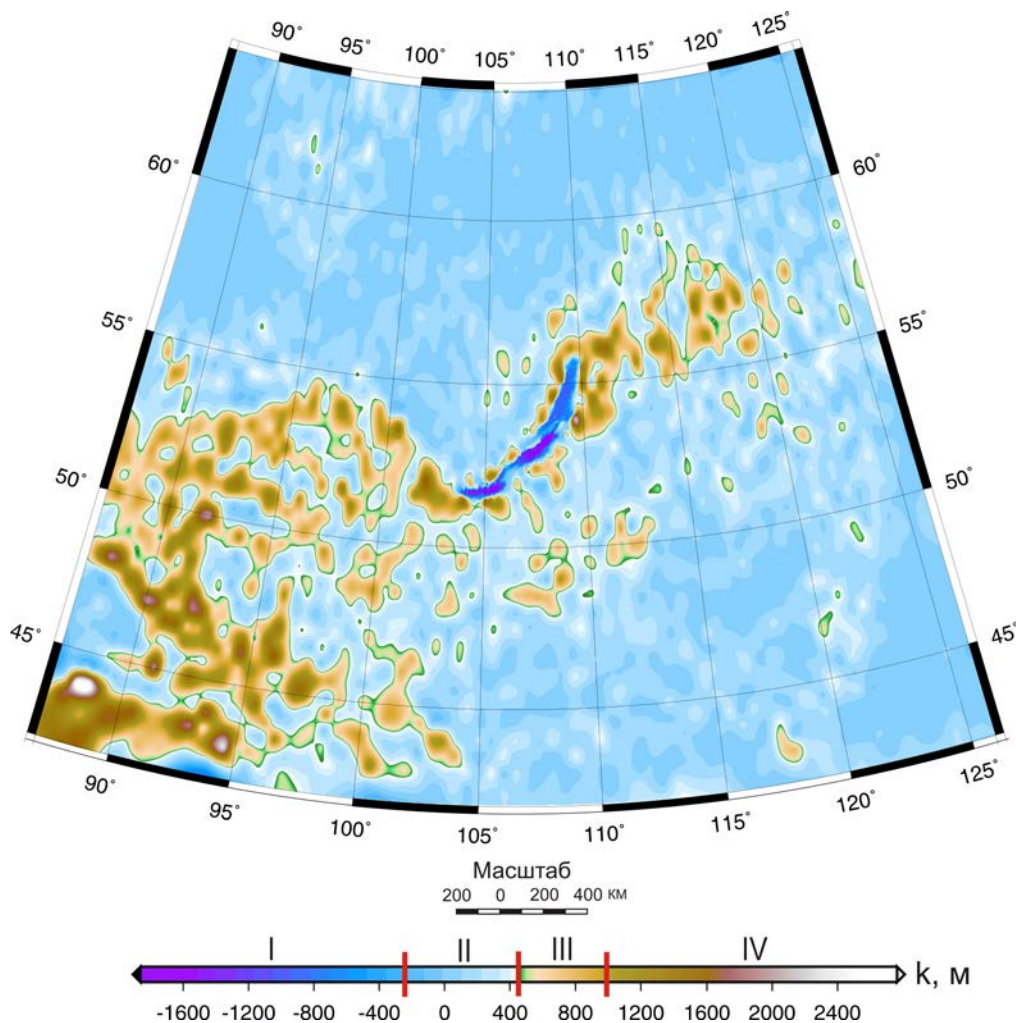


Рис. 1 – Карта областей сноса и аккумуляции Монголо-Сибирского региона

#### Результаты

Пространственная локализация областей сноса и аккумуляции имеет свои особенности и закономерности. Их ориентированность обусловлена расположением неотектонических структур, их протяженностью и направлением.

Области сноса на карте приурочены к горным системам с максимальными высотными отметками. Согласно простиранию хребтов Восточного Саяна, Хамар-Дабана, Хангайского хребта и хребтов Монгольского Алтая находятся вытянутые в том же СЗ-ЮВ направлении области сноса. Для них характерна однонаправленность процессов сноса материала со склонов.

Преимущественно на всей рассматриваемой территории развиты зоны аккумуляции. Области с максимальной величиной коэффициента аккумуляции сосредоточены между Гобийским Алтаем и Хангаем в Монголии, в Дархатской котловине и Алаг-Нурской впадине. Высокие значения  $k$  на карте соответствуют равнинно-платформенным областям и области пустыни Гоби.

Минимальные значения  $k$  (зона I на рис.) локализованы во впадине оз. Байкал, вмещающей мощные толщ осадочных пород. Области голубого цвета (зона II на рис.) соответствуют площадям древних платформ и плитам с

максимальной мощностью литосферы (более 60 км [8]). Диапазон значений зоны III на рис. соответствует областям перехода от консолидированных блоков к межблочному пространству [10], с которыми связаны глубинные разломы, характеризующиеся высокими значениями теплового потока [5]. В пределах БРЗ толщина литосферы в зоне III уменьшается, а верхняя граница аномальной мантии поднимается при переходе от горных хребтов к рифтовым впадинам. Максимальные значения областей сноса приурочены к консолидированным блокам земной коры (зона IV на рис.), под которыми литосфера утолщена, а граница астеносферы располагается глубже, чем под впадинами.

Известно, что главная роль в формировании основных черт современного рельефа принадлежит новейшим тектоническим движениям [3]. Областям со слабовыраженными вертикальными положительными тектоническими движениями в рельефе соответствуют равнины, невысокие плато и плоскогорья с тонким чехлом четвертичных отложений. Местам тектонических погружений, как правило, соответствуют низменные равнины с мощной толщей осадков неоген-четвертичного возраста. Областям интенсивных, преимущественно положительных тектонических движений соответствуют горы: хребты Прибайкалья, Забайкалья, Саян и Алтая. Следовательно, рельефообразующая роль неотектонических движений проявилась, прежде всего, в деформации земной поверхности, в создании положительных и отрицательных форм рельефа разного порядка. Через дифференциацию топографической поверхности новейшие тектонические движения "контролируют" расположение на поверхности Земли областей сноса и аккумуляции и, как следствие этого, областей с преобладанием денудационного (выработанного) и аккумулятивного рельефа.

### Обсуждение результатов

Вертикальные и горизонтальные движения можно рассматривать как составляющие единого тектонического процесса. Именно они лежат в основе формирования рельефа. Амплитуды вертикальных и горизонтальных движений согласованы между собой и опосредованно связаны с таким геолого-геофизическим параметром, как плотность теплового потока [5], которая, в свою очередь, коррелирует с толщиной литосферы и астеносферы.

Вертикальная составляющая тектонических движений всегда присутствует и часто превалирует при образовании сбросов, надвигов, грабенов и горстов, а, следовательно, и соответствующих этим структурам форм рельефа [9].

Не менее важное значение имеют и горизонтальные деформации литосферы, которые часто рассматриваются как производные горизонтальных смещений астеносферных масс [7] и как результат гравитационного соскальзывания литосферы по склонам астеносферных выступов [1], [2]. Это объясняется избыточным гидростатическим напором аномальной мантии. Изменяя земную поверхность, деформации влияют на пространственное расположение областей сноса и аккумуляции, денудационного и аккумулятивного рельефа.

Область взаимодействия литосферы и атмосферы может быть представлена в виде «экзогенно-активного слоя», под которым понимается объем горных масс, заключенный между вершинной и базисной поверхностями современного рельефа [4]. Примерно такой объем будет преобразован в рыхлые отложения под воздействием комплекса экзогенных процессов. Толщина экзогенно-активного слоя находится в прямой зависимости от плотности активных в кайнозой разломов и глубины их проникновения [9].

Тектонические движения оказывают не только прямое воздействие на рельеф, но и опосредованное, через климат. Вертикальные тектонические движения в большей степени являются первопричиной изменения климата на поверхности Земли. Горные системы с большими перепадами высот влияют на атмосферную циркуляцию, создавая разницу давлений и вызывая перераспределение осадков, что отражается на интенсивности процессов эрозии.

### Заключение

Соотношение вертикальных и горизонтальных движений, вызывающих деформации земной поверхности, наряду с экзогенными процессами, сформировали современную морфоструктуру рельефа, который является собой результат взаимодействия твердых оболочек и атмосферы Земли.

Проведенное исследование позволило ранжировать территорию Байкало-Монгольского складчатого пояса на основании параметра толщины экзогенно-активного слоя, что дает возможность экстраполировать динамику развития рельефа в течение кайнозойского геоморфологического этапа активизации. В выделенных областях с максимальной амплитудой перепадов высот создаются самые благоприятные условия для наиболее интенсивного развития процессов разрушения и быстрого сноса разрушенных материалов в области аккумуляции.

Построение карты областей сноса и аккумуляция также позволяет получить представление о распределении площадей с разным соотношением толщины литосферы и астеносферы. Так, максимальные значения соответствуют областям утолщения литосферы и более глубокому залеганию кровли астеносферы. При переходе от максимальных высотных значений рельефа к областям аккумуляции впадин происходит постепенное поднятие кровли астеносферы. Места аккумуляции впадин БРЗ и долин горно-складчатых областей характеризуются минимальными значениями толщины литосферы и поднятием кровли аномальной мантии, в отличие от областей аккумуляции платформ, характеризующихся утолщенной литосферой.

### Финансирование

Данное исследование проведено в рамках интеграционной программы № 0341-2016-0001, блок В.

### Funding

This study was conducted as part of integration program No. 0341-2016-0001, Block V.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Артюшков Е. В. Геодинамика / Артюшков Е. В. – М.: Наука, 1979.
2. Зоненшайн Л. П. Введение в геодинамику / Л. П. Зоненшайн, Л. А. Савостин. – М.: Недра, 1979. – 311 с.
3. Леви К. Г. Тектонофизический анализ неотектонических движений в сейсмоактивных зонах литосферы: дис. док. геол. наук. 04.00.04 : защищена 31.10.1990: утв. 24.02.1991 / Леви Кирилл Георгиевич. – Новосибирск, 1990. – 298 с.
4. Леви К. Г. Погодно-климатические изменения в Байкало-Монгольском регионе: анализ и прогноз до 2050 г. / К. Г. Леви, А. И. Мирошниченко, Е. А. Козырева и др. // Евразия в кайнозое. Стратиграфия, палеоэкология, культуры. – 2016. № 5. – С. 28–37.
5. Лысак С. В. Тепловой поток в зонах активных разломов на юге Восточной Сибири / С. В. Лысак // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 8. – С. 791–803.
6. Напрасников А. Т. Методические подходы к анализу изменчивости тепла и влаги Байкало-Монгольского региона / А. Т. Напрасников // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 5-1. – С. 69–72.
7. Саньков В. А. Современные и голоценовые горизонтальные движения на Байкальском геодинамическом полигоне / В. А. Саньков, К. Г. Леви, Э. Кале и др. // Геология и Геофизика. – 1999. – Т. 40, № 3. – С. 422–430.
8. Саньков В. А. Позднекайнозойское разломообразование и напряженное состояние юго-восточной части Сибирской платформы / В. А. Саньков, А. В. Парфеевец, А. И. Мирошниченко и др. // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 81–105. doi:10.5800/GT-2017-8-1-0233
9. Шерман С. И. Геология и сейсмичность зоны БАМ: (От Байкала до Тынды). Неотектоника / Шерман С.И., Леви К.Г., Ружич В.В. и др. ; Под ред. Н.А. Логачева. – Новосибирск: Наука, 1984. – 207 с.
10. Novopashina A. V. Influence of crustal fracturing on the thermal springs and earthquake swarms distribution in the north-east part of the Baikal rift system (Russia) / Novopashina A. V., Kuz'mina E. A. // Acque Sotterranee – Italian Journal of Groundwater. – 2019. – V. AS29. P. 23–36. doi:10.7343/as-2019-360
11. USGS EROS Archive - Digital Elevation Model - Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30) [Electronic resource] – 2019. – URL: <https://www.usgs.gov/> (accessed: 20.08.2019).

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Artyushkov Ye. V. Geodinamika [Geodynamics] / Artyushkov Ye. V. – M.: Nauka, 1979. [in Russian]
2. Sonenshine L. P. Vvedeniye v geodinamiku [Introduction to geodynamics] / L. P. Zonenshayn, L. A. Savostin. – M.: Nedra, 1979. – 311 p. [in Russian]
3. Levi K. G. Tektonofizicheskiy analiz neotektonicheskikh dvizheniy v seysmoaktivnykh zonakh litosfery [Tectonophysical analysis of neotectonic movements in seismically active zones of the lithosphere]: dis. of Doc. in Geology and Mineralogy 04.00.04: defense of the thesis: 31.10.1990: approved 24.02.1991 / Levi Kirill Georgievich. – Novosibirsk, 1990. – 298 p. [in Russian]
4. Levy K. G. Pogodno-klimaticheskiye izmeneniya v Baykalo-Mongol'skom regione: analiz i prognoz do 2050 g. [Weather and climate changes in the Baikal-Mongolian region: analysis and forecast until 2050] / K. G. Levy, A. I. Miroshnichenko, E. A. Kozyreva and others // Yevraziya v kaynozoye. Stratigrafiya, paleoekologiya, kul'tury [Eurasia in the Cenozoic. Stratigraphy, paleoecology, culture]. – 2016. № 5. – P. 28–37. [in Russian]
5. Lysak S. V. Teplovoy potok v zonakh aktivnykh razlomov na yuge Vostochnoy Sibiri [Heat flow in zones of active faults in the south of East Siberia] / S. V. Lysak // Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]. – 2002. – T. 43, № 8. – P. 791–803. [in Russian]
6. Naprasnikov A. T. Metodicheskiye podkhody k analizu izmenchivosti tepla i vlagi Baykalo-Mongol'skogo regiona [Methodological approaches to the analysis of heat and moisture variability of the Baikal-Mongolian region] / A. T. Naprasnikov // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Basic Research]. – 2014. – № 5-1. – P. 69–72. [in Russian]
7. Sankov V.A. Sovremennyye i golotsenovyie gorizonta'l'nyie dvizheniya na Baykal'skom geodinamicheskom poligone [Modern and Holocene horizontal movements at the Baikal geodynamic testing ground] / V. A. Sankov, K. G. Levy, E. Kale, and others // Geologiya i Geofizika [Geology and Geophysics]. – 1999. – T. 40, № 3. – С. 422–430. [in Russian]
8. Sankov V.A. Pozdnekaynozoy'skoye razlomoobrazovaniye i napryazhennoye sostoyaniye yugo-vostochnoy chasti Sibirskoy platform [Late Cenozoic faulting and stress state of the southeastern part of the Siberian Platform] / V. A. Sankov, A. V. Parfeyevets, A. I. Miroshnichenko, and others // Geodinamika i tektonofizika [Geodynamics and tectonophysics]. – 2017. – V. 8, № 1. – P. 81–105. doi:10.5800/GT-2017-8-1-0233. [in Russian]
9. Sherman S. I. Geologiya i seysmichnost' zony BAM: (Ot Baykala do Tyndy). Neotektonika [Geology and seismicity of the BAM zone: (From Baikal to Tynda). Neotectonics] / S. I. Sherman, K. G. Levy, V. V. Ruzhich and others ; edited by. N.A. Logachev. – Novosibirsk: Nauka, 1984. – 207 p. [in Russian]
10. Novopashina A. V. Influence of crustal fracturing on the thermal springs and earthquake swarms distribution in the north-east part of the Baikal rift system (Russia) / Novopashina A. V., Kuz'mina E. A. // Acque Sotterranee – Italian Journal of Groundwater. – 2019. – V. AS29. P. 23–36. doi:10.7343/as-2019-360
11. USGS EROS Archive - Digital Elevation Model - Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30) [Electronic resource] – 2019. – URL: <https://www.usgs.gov/> (accessed: 20.08.2019).

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.010>**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НА СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ  
ЯКУТИИ**

Научная статья

**Калинин А.И.<sup>1</sup>, Слепцова М.И.<sup>2,\*</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7499-2060;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-7499-2060;<sup>1,2</sup> Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

\* Корреспондирующий автор (msleptsova[at]mail.ru)

**Аннотация**

В северо-восточной части Республики Саха (Якутия) в значительной степени приуроченной к Верхне-Колымской горно-складчатой области, перспективными на углеводородное сырье являются в основном межгорные и приморские впадины. В данной статье приведены результаты обобщения многочисленных данных, проведенных в разные годы исследованиях по поверхностному геохимическому опробованию пород, вод, газов по программе прямых поисков нефти и газа. Геохимические исследования позволили выявить многие проявления газов, нефтей, битумов, которые в условиях слабой изученности северо-восточной части Республики Саха (Якутия) указывают на возможность открытия здесь прогнозируемых месторождений углеводородного сырья.

**Ключевые слова:** газ, битум, Северо-Восток Якутии.

**GEOCHEMICAL SIGNS OF OIL AND GAS PRESENCE IN NORTHEAST YAKUTIA**

Research article

**Kalinin A.I.<sup>1</sup>, Sleptsova M.I.<sup>2,\*</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-7499-2060;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-7499-2060;<sup>1,2</sup> Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia

\* Corresponding author (msleptsova[at]mail.ru)

**Abstract**

Intermountain and coastal cavities located in the Upper Kolyma mountain-folded region of the northeastern part of the Republic of Sakha (Yakutia) are the most promising areas in the region regarding hydrocarbon raw materials. This article presents the results of the generalization of numerous data based on the research on surface geochemical testing of rocks, water, gases carried out in different years within the program of direct searches for oil and gas. Geochemical studies revealed many signs of gases, oils, bitumen presence, which, given the poor knowledge of the north-eastern part of the Republic of Sakha (Yakutia), indicate the possibility of discovering the hydrocarbon deposits.

**Keywords:** gas, bitumen, Northeast Yakutia.

Наряду с Западной Якутией обширные территории которой почти повсеместно являются промышленно нефтегазоносными и где уже открыты многочисленные месторождения, позволившие создать здесь крупную сырьевую базу для нефтяной и газовой промышленности, северо-восточные районы республики также оцениваются как перспективные в нефтегазоносном отношении.

С целью оценки перспектив нефтегазоносности Колымского массива, Момо-Зырянской впадины и Приморского прогиба, группой авторов проанализированы результаты специальных геохимических исследований природных вод, газов и битумов данного региона [1]. Свободные газопроявления в источниках с менее интенсивным водообменом наблюдались как на юго-западном борту Момской мульды, так и на южных склонах Илин-Тасского мегаантиклинария. Здесь газ характеризуется резко повышенным суммарным содержанием предельных углеводородов, представленных всей гаммой тяжелых гомологов. В отдельных случаях суммарный дебит газа в источнике составлял 0,5-1,0 м<sup>3</sup>/мин. В пределах Момского и Индигиро-Зырянского прогибов, несмотря на незначительную общую битуминозность пород (0,02-0,03%), содержащийся в них битум характеризуется восстановленностью, на что указывает высокое содержание в них хлороформного битумоида. Большие мощности битумосодержащих пород позволяют предполагать, что они могли генерировать огромные количества жидких и газообразных углеводородов, формирующих залежи нефти и газа. По мнению авторов наиболее перспективными в отношении нефтегазоносности в пределах Восточной Якутии являются отложения среднего палеозоя, развитые на Колымском срединном массиве, Новосибирских островах и Приморском прогибе. На это указывает, в частности, факт получения жидкой нефти из силурийских пород в бассейне р. Таскан в мелкой колонковой скважине. Высокие перспективы нефтегазоносности связываются также с верхнеюрскими и нижнемеловыми отложениями, объединяемыми в «Зырянский комплекс» [1].

Колосковым К.Н. в течение 3-х полевых сезонов обследована долина р. Индигирка от р. Закрытой до устья р. Уяндина, нижние течения рек Селенных, Дружины, Уяндины, Бадярихи, Кыллаха, Бурунаса. Всего – 180 водотоков. Отобрано 78 проб воды, 14 – газа. Исследована минерализация источников вод и температура. Район выявленных выделений горючих газов на северо-востоке ограничивается широтой пос. Майор-Крест на юго-западе – полосой сочленения предгорий с низменностью. Основные результаты выполненных исследований позволяют в целом положительно оценить перспективы нефтегазоносности северо-западной части Зырянского прогиба [2]. Ивановым К. Н. в 1979 г. и Клубовым Б.А. в рамках обобщающих геохимических исследований по северу, северо-востоку и

Дальнему Востоку СССР выявлены и изучены нафтиды, наптоиды и природные битумы [3], [4]. Результаты газопроявления в скважинах и водоемах приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Газопроявления в скважинах и водоемах

№	Осадочные бассейны, складчатые системы	Место отбора, описание	Источник информации, примечания
1	Лаптевско-Янский бассейн	В мелкой скважине № 5 в проливе Дм. Лаптева с глубины ~ 80 м из отложений KZ	[1]
2		В мелкой скважине в устье р. Яна с глубины ~ 20 м	[3]
3	Индиго-Зырянский бассейн	В р. Красной из отложений K <sub>1</sub>	[4]
4		В р. Индигирке около руч. Уструктах-Юриете из отложений K <sub>1</sub> ; дебит 15 м <sup>3</sup> /сут	[5]
5		В р. Таас-Кутургун	[4]
6		В озере на правом берегу р. Индигирки	[4]
7		В озере в 19 км на восток от пос. Майор-Крест	[5]
8		В низовьях р. Сулаккан	[6]
9		В левом притоке р. Чечелюгон в 15 км от устья	[6]
10		В озере в 6,5 км на восток от устья левого притока р. Чечелюгон	[6]
11		В озере в 3,5 км на юг от левого притока р. Чечелюгон	[6]
12		В озере в 11 км на северо-запад от устья р. Кынрайдах	[6]
13		В озере в 7 км на северо-северо-восток от устья р. Кынрайдах	[6]
14		В озере в 6,2 км на северо-восток от устья р. Арга-Юрях	[6]
15		В озере около устья р. Силяп	[1]
16		В р. Силяп в устье р. Встречной	[3]
17	Момский бассейн	В озере на правом берегу р. Момы в 6,5 км на север от устья р. Эрикит	[6]
18		В р. Тарын-Юрях в голове наледи	[6]
19		В озере в 2 км на юго-восток от МТФ Кычам-Кюэль	[6]
20		В озере у МТФ Кычам-Кюэль (устье руч. От-Юрюе)	[1]
21	Момский бассейн	В р. Кюратэр	[1]
22		В руч. в 5,5 км на юго-восток от устья р. Калгар	[6]
23		На правом берегу р. Арга-Тарыннах в 1 км на восток от оз. Даркы	[6]
24	Лаптевско-Янский бассейн	Устьевая часть р. Яны (в скважинах)	По мнению Косолапова состав газа сходен с составом газа в устье Вилюя [1]
25		Прибрежная зона южного берега пролива Лаптева	[7]
26		Оз. Тастах (в пределах Яно-Колымской артезианской области)	[7]
27	Алазейско-Олойская складчатая система	Устье руч. Ветренного в р-не впадения р. Березовки в Колыму	[7]
28		На озере у берега Колымы в 3 км на северо-восток от устья р. Крестовки	[7]
29		На озере на правом берегу Колымы в 2,5 км на юг от заимки Алешкино	[7]

Результаты битумопроявления по данным В.В. Иванов и Б.А. Клубова приведены в таблице 2 [3].



Таблица 2 – Битумопроявления

№	Класс битумопроявлений	Место отбора	Описание, примечания
1	Антраксолиты в пластовом залегании	Остров Бельковский, м. Северный;	Щетки и корочки по трещинам в известняках соколовской свиты (D <sub>2</sub> )
2	Антраксолиты в пластовом залегании	Северо-западное побережье о-ва Котельного;	Мелкие включения среди кальцитовых прожилков в известняках силура; Выполнение пор и каверн в известняках соколовской свиты (D <sub>2</sub> ); Выполнение пор и трещин в известняках шлюпочной свиты (D <sub>1-2</sub> )
3	Мальты	Бассейн р. Уяндины	Равномерное насыщение известняков франского яруса
4	Мальты	Селеняхский блок, бассейн рек Сеймчан и Талынджа;	Примазки по трещинам в известняках S <sub>2</sub> ; Выполнение пор и каверн в известняках кровли верхнего силура; Выполнение форменных элементов фауны
5	Асфальты и асфальтиты в пластовом залегании	Полуосное поднятие, Селеняхский блок, р. Уяндина	Пятнистое насыщение и примазки по трещинам в известняках D <sub>2</sub>
6	Асфальты и асфальтиты в пластовом залегании	Полуосное поднятие, Селеняхский блок, р. Сеймчан	Пятнистое насыщение и примазки по трещинам в известняках D <sub>1</sub>
7	Антраксолиты, вязанные с проявлениями ртути	Месторождение Гал-Хая	Включения в карбонатных жилах среди пород нижнего силура
8	Антраксолиты жильные среди терригенных пород	Илинь-Тасский антиклинорий, верховья р. Чечелюгин,	Включения в кварцевых прожилках в песчаниках бастахской свиты J <sub>3</sub>
9	Антраксолиты в пластовом залегании	Междуречье Уочата, Урультуна и Таскана;	Гнезда в известняках битумской свиты D <sub>2</sub>
10	Антраксолиты в пластовом залегании	Бассейн рек Омудевки и Таскан;	Гнезда в известняках и доломитах бизонской свиты S <sub>2</sub>
11	Нефти	Р. Поповка, в 118 км от устья;	Жидкий битум в полостях конкреций нятвенской толщи C <sub>2</sub> ; Примазки нефти по трещинам в обломках известняков
12	Кериты жильные	Среднее течение р. Ясачной;	Прожилки и гнезда совместно с кальцитом в песчаниках верхнего карбона; Прожилки и гнезда совместно с кальцитом в породах среднего девона
13	Антраксолиты в пластовом залегании	Алазейское поднятие, правый берег р. Кенкельды (в 15 км от устья) и водороздел с р. Эгелях	Включения в мраморизированных известняках
14	Кериты жильные	Алазейское поднятие, р. Кыллах у устья р. Кенкельды	Пленки по трещинам в контактово-измененных карбонатных породах
15	Антраксолиты в пластовом залегании	Правый берег р. Колымы у пос. Лабуя;	Выполнение трещин в известняках верхней перми и нижнего триаса;
16	Мальты	Район Вяткиного Камня	Примазки по трещинам совместно с кальцитом в эффузивах K <sub>1</sub>

Кисляковым В.Н. в 1976 г. проведена комплексная оценка перспектив нефтегазоносности Приморской площади с целью выбора объектов на размещение геофизических работ. Показано, что основные нефтегазоматеринские толщи в Тастахском прогибе приурочены к разрезу верхней юры и нижнего мела, верхнего мела-палеогена и нижнего неогена. На Хромском массиве перспективными могут оказаться палеозойские карбонатные породы. По газогидрогеохимическим данным отмечаются косвенные признаки нефтегазоносности: присутствие в поверхностных водах углеводородов, в том числе пропана, редко этана, в ряде мест, установлены высокие содержания метана, нафтеновых кислот [7].

В 1987-89 гг. трестом «Якутскгеофизика», ПГО «Ленанефтегазгеология» проводились региональные геохимические исследования по программе прямых поисков нефти и газа по рекам Селеннях, Мятись, Чукча, Бадяриха, Индигирка и др. По результатам этих исследований выделен ряд геохимических аномалий, проведено

районирование территории по геохимическим данным, намечены возможно нефтегазоносные площади. Подтверждена возможность формирования небольших газовых и газоконденсатных залежей в верхнеюрско-меловых и палеоген-неогеновых отложениях [8], [9], [10].

Яшиным Д.С. и Кимом Б.И. получены материалы по донному опробованию и проанализированы более 700 грунтовых станций [11]. Согласно существующим представлениям, вертикальная миграция УВ-газов из залежи к дневной поверхности приводит к образованию в перекрывающих отложениях (в том числе и донных осадках) аномальных содержаний метана и его гомологов, которые могут являться «прямыми» признаками нефтегазоносности недр. Обработка всего массива данных (без ураганных содержаний  $>10 \text{ см}^3/\text{кг}$ ) позволила отнести к категории аномальных содержания метана, превышающие  $0,05 \text{ см}^3/\text{кг}$ , и тяжелых УВ с концентрацией  $>0,001 \text{ см}^3/\text{кг}$ . На Лаптевском шельфе газогеохимические исследования проводились в основном по верхним (50-80 см) слоям осадков, где биохимические процессы протекают наиболее интенсивно. Вместе с тем в колонках, которые вскрыли более глубокие горизонты, принципиальных различий фоновой газонасыщенности не наблюдалось. Характерная особенность газового состава осадков Усть-Ленского грабена – наличие во многих пробах водорода (до 48 %), обладающего высокой миграционной способностью, а также аргона и гелия 0,915-1,325% и 0,004-0,009 % соответственно, что существенно повышает вероятность поступления УВ-газов из глубоких горизонтов. Значительная часть аномальных концентраций УВ-газов в донных осадках Лаптевского шельфа имеет миграционную природу и может свидетельствовать о перспективах акватории на нефть и газ. С позиции газогеохимических исследований наиболее перспективен Усть-Ленский грабен. На шельфе Восточно-Сибирского моря газовый состав донных осадков был изучен в основном в южной его части, в районе Медвежьих островов и о-ве Айон (около 200 проб). Аномальные содержания УВ-газов были установлены лишь в девяти пробах. Донные осадки в этом районе формируются под непосредственным влиянием выносов р.Колымы и в значительной мере обогащены органическим материалом. Отчетливых признаков миграционной природы газов не обнаружено. На шельфе Чукотского моря газовый состав осадков был изучен практически для всех основных структур южной части шельфа. Всего было проанализировано около 200 проб. Большинство аномальных концентраций УВ-газов зафиксированы в пределах перспективного на УВ Южно-Чукотского прогиба. Наиболее убедительно геохимические признаки нефтегазоносности выглядят в юго-восточной части прогиба, в районе впадины Хоуп. Таким образом, газогеохимические исследования донных осадков морей Лаптевых и Чукотского установили наличие аномальных концентраций УВ – газов различной природы. Структурный контроль их распределения, приуроченность значительной части к ослабленным разломным зонам, а также особенности качественного состава газов дают основание рассматривать многие аномальные содержания УВ-газов как «прямые» признаки нефтегазоносности шельфа восточно-арктических морей. В пределах шельфа выделены структуры, которые по геохимическим данным могут представлять интерес как наиболее перспективные на поиски УВ. В море Лаптевых – это Усть-Ленский грабен, на юге Чукотского шельфа – впадина Хоуп. Газогеохимические исследования еще раз показали себя заслуживающим внимания поисковым методом, прежде всего, в пределах слабоизученных акваторий [7].

Каширцевым В.А. и соавторами методами классической битуминологии и хромато-масс-спектрометрии исследованы особенности органического вещества меловых и кайнозойских отложений Индигиро-Зырянского прогиба. Показаны закономерности распределения алканов и полициклических ароматических углеводородов с ростом катагенетических преобразований ископаемого органического вещества. В меловых отложениях установлены сесквитерпаны ряда дримана, а в кайнозойских – тетрациклические биометки филлокладана-каурана. По геохимическим показателям кайнозойские отложения не достигли термобарических условий «главной зоны нефтеобразования». Вместе с тем кайнозойские глинистые толщи могут играть роль хороших изолирующих горизонтов для мигрирующих флюидов из более древних, в том числе меловых отложений [12].

Приведенные исследования свидетельствуют о возможном формировании небольших газовых и газоконденсатных залежей на данной территории [13].

Таким образом, исследования, проведенные на Северо-Востоке Якутии, подтверждают высокую перспективность и необходимость более интенсивных геологоразведочных работ в этом районе.

#### Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения госзадания  
Проект IX.131.1.6, номер - 0377-2018-0004.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Funding

The work was carried out as part of the implementation  
of State Project IX.131.1.6, No. 0377-2018-0004.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / Referencer

1. Косолапов А.И. Перспективы Колымского массива, Мома-Зырянской впадины и Приморского прогиба на нефть и газ / А.И. Косолапов, К.Б. Мокшанцев, Н.В. Черский // Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов - Москва: Недра, 1968. - С.361-367.
2. Колосков К.Н. Основные результаты гидрохимических исследований северо-западной части Зырянского прогиба / К.Н. Колосков // Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности восточной части Советской Арктики: сб. ст. НИИГА. – Ленинград, 1973. - С.52-61.
3. Иванов В.В. Нафтиды и нафтоиды северо-востока СССР / В.В. Иванов, Б.А. Клубов. - М.: Наука, 1979. – 148 с.
4. Клубов Б.А. Природные битумы Севера / Б.А. Клубов. - М.: Наука, 1983. – 205 с.
5. Чочиа Н.Г. Перспективы нефтегазоносности Зырянского прогиба / Н.Г. Чочиа, З.Е. Баранова, Д.А. Вольнов и др. // Тектоника и нефтегазоносность востока СССР: труды ВНИГРИ. – Л, 1972. - Вып. №309. - С. 133-150.
6. Чочиа Н.Г. Структурно-тектонический анализ Зырянского прогиба / Н.Г. Чочиа, Д.А. Вольнов, И.Г. Гольбрайх и др. // Тектоника и нефтегазоносность востока СССР: труды ВНИГРИ. – Л, 1972. - Вып. №309. - С. 118-132.

7. Кисляков В.Н. Оценка перспектив нефтегазоносности северной части восточной Якутии с целью выбора объектов на размещение геофизических работ 1976 г.: отчет по теме: «Комплексная оценка перспектив нефтегазоносности Приморской площади» / Кисляков В.Н. - Якутск: Фонд ТГФ, 1976.
8. Жерновский В.П. Отчет о результатах работ по объекту: "Опытно-производственные исследования по внедрению прямых геохимических методов поисков залежей нефти и газа в Якутии" за 1989-1991 гг. / Жерновский В.П. - Якутск: Фонд ТГФ, 1991.
9. Жерновский В.П. Отчет о результатах работ по объекту: "Геохимические исследования в северо-восточных районах Якутии по программе прямых поисков залежей нефти и газа" за 1991-1992 гг. / Жерновский В.П. - Якутск: Фонд ТГФ, 1992.
10. Жерновский В.П. Отчет о результатах работ по объекту "Геохимическое изучение потенциально нефтегазоносных территорий Якутии" за 1992-1993 гг. / Жерновский В.П. - Якутск: Фонд ТГФ, 1993.
11. Яшин Д.С. Геохимические признаки нефтегазоносности Восточно-Арктического шельфа России / Д.С. Яшин, Б.И. Ким // Геология нефти и газа. - 2007. - №4. - С. 25-29.
12. Каширцев В.А. Геохимия биомаркеров и катагенез органического вещества меловых и кайнозойских отложений Индигиро-Зырянского прогиба (Северо-Восточная Якутия) / В.А. Каширцев, В.В. Гайдук, О.Н. Чалая и др. // Геология и геофизика. - 2012. - Т.53. - № 8. - С. 1027-1039.
13. Калинин А.И. Применение прямых геохимических методов поисков нефти и газа на Северо-Востоке Якутии / А.И. Калинин // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России» в 2 т. - Якутск: издательство Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2018. - Т.1. - С. 293-294.

#### Список литературы на английском языке / Referencer in English

1. Kosolapov A.I. Perspektivy Kolymского massiva, Moma-Zyryanskoy vpadiny i Primorskogo progiba na neft' i gaz [Prospects for the Kolyma massif, the Moma-Zyryan depression and the Primorsky deflection for oil and gas] / A.I. Kosolapov, K.B. Mokshancev, N.V. Cherskiy // Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' vostochnoj chasti Sibirskoj platformy i prilgayushchih rajonov [Geological structure and petroleum potential of the eastern part of the Siberian platform and adjacent areas] - M.: Nedra, 1968. - P.361-367. [in Russian]
2. Koloskov K.N. Osnovnye rezul'taty gidrohimicheskikh issledovaniy severo-zapadnoj chasti Zyryanskogo progiba [Main results of hydrochemical studies of the north-western part of the Zyryansk deflection] / K.N. Koloskov // Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti vostochnoj chasti Sovetskoy Arktiki: Sat. st. NIIGA [Geological structure and petroleum potential of the eastern part of the Soviet Arctic: Digest of articles NIIGA.] - Leningrad, 1973. - P.52-61. [in Russian]
3. Ivanov V.V. Naftidy i naftoidy severo-vostoka SSSR [Naphthides and naphthoids of the northeastern USSR] / V.V. Ivanov, B.A. Klubov. - M.: Nauka, 1979. - 148 p. [in Russian]
4. Klubov B.A. Prirodnye bitумы Severa [Natural Bitumens of the North] / B.A. Klubov. - M.: Nauka, 1983. - 205 p. [in Russian]
5. Chochia N.G. Perspektivy neftegazonosnosti Zyryanskogo progiba [Prospects for petroleum potential Zyryansk deflection] / N.G. Chochia, Z.E. Baranova, D.A. Volnov and others // Tektonika i neftegazonosnost' vostoka SSSR: trudy VNIGRI [Tectonics and petroleum potential of the east of the USSR: the works of VNIGRI]. - L., 1972. - Rel. №309. - P. 133-150. [in Russian]
6. Chochia N.G. Strukturno-tektonicheskij analiz Zyryanskogo progiba [Structural-tectonic analysis of the Zyryansk deflection] / N.G. Chochia, D.A. Volnov, I.G. Holbreich and others // Tektonika i neftegazonosnost' vostoka SSSR: trudy VNIGRI [Tectonics and petroleum potential of the east of the USSR: the works of VNIGRI]. - L., 1972. - Rel. №309. - P. 118-132. [in Russian]
7. Kislyakov V.N. Ocenka perspektiv neftegazonosnosti severnoj chasti vostochnoj Yakutii s cel'yu vybora ob'ektov na razmeshchenie geofizicheskikh rabot 1976 [Assessment of petroleum potential of the northern part of eastern Yakutia in order to select objects for the placement of geophysical works in 1976] : otchet po teme: «Kompleksnaya ocenka perspektiv neftegazonosnosti Primorskoy ploshchadi» [Report on the topic: "Comprehensive assessment of the prospects for the petroleum potential of Primorskaya Square"] / Kislyakov V.N. - Yakutsk: Fund TGF, 1976. [in Russian]
8. Zhernovskij V.P. Otchet o rezul'tatah rabot po ob'ektu: "Opytno-proizvodstvennye issledovaniya po vnedreniyu pryamyh geohimicheskikh metodov poiskov zalezhej nefti i gaza v Yakutii" za 1989-1991 gg. [Report on the results of work on the object: "Pilot studies on the introduction of direct geochemical methods of searching for oil and gas deposits in Yakutia" for 1989-1991] / Zhernovskij V.P. - Yakutsk: Fund TGF, 1991. [in Russian]
9. Zhernovskij V.P. Otchet o rezul'tatah rabot po ob'ektu: "Geohimicheskie issledovaniya v severo-vostochnyh rajonah Yakutii po programme pryamyh poiskov zalezhej nefti i gaza" za 1991-1992 gg. [Report on the results of works on the object: "Geochemical studies in the North-Eastern regions of Yakutia under the program of direct searches of oil and gas deposits" for 1991-1992] / Zhernovskij V.P. - Yakutsk: Fund TGF, 1992. [in Russian]
10. Zhernovskij V.P. Otchet o rezul'tatah rabot po ob'ektu "Geohimicheskoe izuchenie potencial'no neftegazonosnyh territorij YAKUTII" za 1992-1993 gg. [Report on the results of work on the object "Geochemical study of potentially petroleum potential areas of Yakutia" for 1992-1993] / Zhernovskij V.P. - Yakutsk: Fund TGF, 1993. [in Russian]
11. Yashin D.S. Geohimicheskie priznaki neftegazonosnosti Vostochno-Arkticheskogo shel'fa Rossii [Geochemical characteristics of petroleum potential of the East Arctic shelf of Russia] / D.S. Yashin, B.I. Kim // Geologiya nefti i gaza [Geology of oil and gas]. - 2007. - №4. - P. 25-29. [in Russian]
12. Kashircev V.A. Geohimiya biomarkerov i katagenez organicheskogo veshchestva melovyh i kajnozoijskikh otlozhenij Indigiro-Zyryanskogo progiba (Severo-Vostochnaya Yakutiya) [Geochemistry of biomarkers and catagenesis of organic matter of cretaceous and cenozoic deposits in the Indigirka-Zyryanka basin (Northeastern Yakutia)] / V.A. Kashircev, V.V. Gaiduk, O.N. Chalaya and other // Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]. - 2012. - V.53. - № 8. - P. 1027-1039. [in Russian]
13. Kalinin A.I. Primenenie pryamyh geohimicheskikh metodov poiskov nefti i gaza na Severo-Vostoke YAKUTII [Application of direct geochemical methods of oil and gas prospecting in the North-East of Yakutia] / A.I. Kalinin // Materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii» v 2 t. [Proceedings of the VIII all-Russian scientific and practical conference "Geology and mineral resources of the North-East of Russia", April 18-20, 2018 in 2 t.] - Yakutsk: publishing house Instituta merzlotovedeniya im. P.I. Mel'nikova SO RAN, 2018. - V.1. - P. 293-294. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.011>

## ВЛИЯНИЕ ГИДРО- И ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ НА ХАРАКТЕР СОВРЕМЕННОГО ЭРОЗИОННОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Научная статья

**Соколова Н.В. \***

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (sona[at]ipng.ru)

### Аннотация

В статье рассматривается проблема выявления областей усиления денудации на земной поверхности. С такими областями связаны области воздымания того же ранга. Даны признаки выделения областей денудации, особенности их строения и характер расчленения. Границами таких областей являются зоны разрядки напряжений, потенциальных разрывов земного вещества разного ранга, в которых функционируют системы относительно независимых (параллельных с люфтом 45°) гидро- и литодинамических потоков. Показаны границы областей денудации трех рангов в пределах территорий Волго-Уральской и Прикаспийской нефтегазовых провинций. Отражена возможность использования полученной информации об областях денудации для выявления потенциально опасных мест, где возможны перестройки гидро- и литодинамических потоков разного ранга и усиление эрозионных процессов.

**Ключевые слова:** эрозия, узлы относительно независимых потоков, зона разрядки напряжений, потенциальные разрывы земного вещества, граница области денудации.

## INFLUENCE OF HYDRO AND LITHO-DYNAMIC FLOWS ON THE CHARACTER OF MODERN EROSION DIVISION OF TERRITORIES

Research article

**Sokolova N.V. \***

Institute of Oil and Gas Problems of RAS, Moscow, Russia

\* Corresponding author (sona[at]ipng.ru)

### Abstract

The article considers the problem of identifying the areas of increased denudation on the earth's surface. Uplifting areas of the same rank are associated with them. The signs of distinguishing denudation areas, features of their structure and the nature of their division are presented. The boundaries of such regions are zones of stress release, potential discontinuities of terrestrial matter of different ranks, where systems of relatively independent (parallel with a shake of 45°) hydro- and lithodynamic flows function. The boundaries of denudation areas of three ranks are shown within the territories of the Volga-Ural and Caspian oil and gas provinces. Obtained information on the areas of denudation can be used for identifying potentially dangerous places where the restructuring of hydro- and lithodynamic flows of different ranks and the intensification of erosion processes are possible.

**Keywords:** erosion, nodes of relatively independent flows, stress release zone, potential discontinuities of terrestrial matter, region boundary of denudation.

### Введение

Проблема выявления закономерностей современных процессов эрозионного расчленения земной поверхности является актуальной, и ей посвящено множество работ. В них данные процессы исследуются локально, без учета ортогональных систем гидро- и литодинамических потоков разного ранга, являющихся индикаторами непрерывных геодинамических процессов.

В представленной статье рассматривается именно этот аспект проблемы. По объектам исследования наиболее близкими являются работы [1], [2], в которых изучаются изменения узлов слияния рек с учетом динамики местных базисов эрозии.

Известно, что на суше и на дне водоемов разного уровня функционирует единая система взаимосвязанных узлов сочленения транзитных потоков и активных их притоков. В работе [3] рассматриваются особенности функционирования таких узлов в пределах морей и океанов.

Настоящая работа отличается от этих исследований тем, что подобные узлы рассматриваются как геологические объекты, узлы сочленения трех зон разрядки напряжений (ЗРН), потенциальных разрывов земного вещества, и элементы современных систем относительно независимых (параллельных с люфтом 45°) гидро- и литодинамических потоков [4].

Земная поверхность непрерывно эродирована данными потоками, в том числе и реками. Их системы ограничивают области воздымания масс внутриземного вещества и, соответственно, области усиления денудации на земной поверхности, которые отражают непрерывное взаимодействие эндогенных и экзогенных процессов. В отличие от [4] в предлагаемой статье используется дополнительный признак районирования территорий по глубине их эрозионного расчленения потоками разного ранга.

При проведении исследований учитывалось, что перемещение вещества и изменение его плотности – процессы взаимосвязанные. При нисходящих тектонических движениях в ходе осадконакопления происходит дальнейшая консолидация вещества (оно уплотняется), а при положительной деформации рельефа – породы разуплотняются. Подъем вещества создает выпуклости на дневной поверхности, а его отток – отрицательные формы рельефа [5]. При формировании таких выпуклостей развиваются области усиления денудации.

Как известно, нефтегазовые залежи связаны с антиклинальными складками и областями воздымания. От знания закономерностей расчленения земной поверхности зависит решение проблемы выявления и прогнозирования индуцированных микро-и макроземлетрясений. Подобного рода землетрясения возникают тогда, когда естественная заложённая система разуплотнённых зон на земной поверхности уже не может справляться с антропогенными нагрузками. Наряду с этим развиваются землетрясения (в том числе микроземлетрясения) природного характера, которые не связаны напрямую с деятельностью человеческого общества, а обусловлены взаимодействиями эндогенных и экзогенных процессов, и которые, в свою очередь, изменяют местные базисы эрозии гидро- и литодинамических потоков разного ранга.

Самые негативные ситуации могут возникнуть при наложении природных и антропогенных факторов. Поэтому необходимо, чтобы в инновационных технологиях разработки залежей углеводородов и транспортировки нефти и газа учитывался характер возможного распространения микроземлетрясений в естественных условиях, связанных с развитием ЗРН разного ранга.

Целью настоящего исследования является определение особенностей расчленения земной поверхности и выявление границ областей денудации с учетом систем гидро- и литодинамических потоков разного ранга на примере Волго-Уральской и Прикаспийской нефтегазоносных провинций.

### **Методы и принципы исследования**

Согласно работам [4], [6], земная поверхность рассматривается как совокупность однотипных узлов ЗРН разного ранга. К ним приурочены узлы слияния рек. В таком узле развивается воронка, с которой связаны две ортогональные системы противоположных притоков. Самая низкая часть воронки может быть приурочена либо к одной, либо к другой системе в зависимости от энергетики притоков. Противоположные по направлению притоки – разные по силе. Один из них самый сильный, а другой – менее сильный. Если распределение притоков в воронку таково, что самый сильный и самый слабый из них развиваются в одной плоскости, то формируется транзитный поток, выходящий за пределы воронки, а один из притоков в ортогональной плоскости становится активным его притоком. Если наиболее сильный и наиболее слабый из притоков развиваются в ортогональных плоскостях, то транзитный поток, выходящий за пределы воронки, формирует меандр. В таком случае возможно раздвоение транзитного потока, развитие параллельной протоки.

Каждая из ЗРН, в которой функционируют лито- и гидродинамические потоки, имеет определенное строение. В поперечном разрезе она включает канал уплотняющегося вещества (к которому приурочены русла рек) и примыкающие к нему с противоположных сторон две разуплотняющиеся зоны (которые стимулируют развитие приточных систем). Узлы сочленения трех ЗРН разного ранга позволяют реализовываться геодинамическим перестройкам, связанным с противоположными процессами погружения и воздымания, уплотнения и разуплотнения.

Границами областей воздымания (и областей усиления сноса) являются относительно независимые потоки. Для них в ЗРН создаются благоприятные условия, среди которых – непрерывное понижение местных базисов эрозии и активное развитие приточных систем. Внутри такой области эрозионные врезы меньше по глубине, чем на ее границах.

Область денудации, оконтуренная системой относительно независимых потоков, имеет четкое строение. Центральная ее часть занята современным бассейном аккумуляции с узлом ЗРН и областью денудации относительно меньшего ранга. Между центральной частью и границей такой области развивается склон, по которому вода с центральной части сбрасывается в относительно независимые потоки. В случае активизации воздымания на склонах усиливаются эрозионные процессы. При этом современный бассейн аккумуляции развивается в режиме выполаживания. Если область денудации начинает преобразовываться в область аккумуляции, то ослабляется снос в пределах склонов.

В процессе выявления границ областей денудации и их непрерывной динамики следует учитывать ряд факторов, среди которых: системы относительно независимых гидро- и литодинамических потоков и их однотипных узлов разного ранга; глубина эрозионного расчленения территорий; характер взаимосвязи противоположных притоков к двум относительно независимым потокам; особенности взаимодействия противоположных близрасположенных притоков к одному транзитному потоку и проявления процессов денудации и аккумуляции. Два последних фактора можно определить с использованием черно-белых панхроматических аэрофотоснимков среднего масштаба. Такой опыт уже имеется [7], [8]. В работе [7] показаны известные прямые и косвенные признаки проявления взаимосвязи неотектонических движений (воздымания и погружения) с процессами усиления сноса и аккумуляции вещества земной поверхности.

При выявлении границ областей денудации самого крупного ранга на рассматриваемой территории использовалась серия общегеографических карт масштабов 1:7 500 000 и 1:2 500 000 [9]. Области денудации второго и третьего рангов и наиболее глубокие эрозионные врезы определялись по топографическим картам масштабов 1:1 000 000, 1:200 000 [10]. При выявлении границ областей денудации относительно низкого ранга необходимо использовать топографические карты крупного масштаба.

### **Основные результаты**

В пределах рассматриваемых территорий были выявлены области денудации разного ранга. Наиболее крупной и относительно глубоко врезанной является область денудации в границах ЗРН с Волгой, Тоболом (участки меридионального простираения), Камой, Чусовой, Исетью, Убаганом, потоками на дне Арала, северным притоком Арала, с Аму-Дарьей, оз. Сарыкамышским, р. Узбоем, потоками на дне Каспийского моря (рис. 1, красная линия). Река Чусовая пересекает Урал на самом низком уровне (относительно других рек в этом регионе). Этот факт необходимо учитывать при районировании территорий по характеру эрозионного расчленения.

Система потоков, оконтуривающих данную область денудации крупного ранга, со временем меняется. В статье А.А. Свиточа [11] отражена история развития Аральского моря. С помощью спутниковых карт, приведенных в [10], определялись изменения положения систем относительно независимых потоков и характера эрозионного расчленения

территории, произошедшие в период с середины прошлого столетия [9]. На участке Аму-Дарья – Арал кардинально изменилось направление транзитного движения в системе потоков. Сарыкамышская котловина уже не осушается, а переполняется водой, которая поступает напрямую из Аму-Дарьи. Эта река теперь не течет в Арал, наоборот, сток идет от Арала в Аму-Дарью и далее в Сарыкамышскую котловину. Если в пятидесятые годы прошлого века главный узел сочленения потоков в пределах наиболее пониженной части котловины Аральского моря (находящейся в западной ее части) погружался и принимал воды из Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи, то теперь данный узел развивается в режиме воздымания. В результате русла этих рек перестраиваются. Зафиксированы процессы осушения в заливе Комсомолец, на северо-восточных окраинах Каспия.

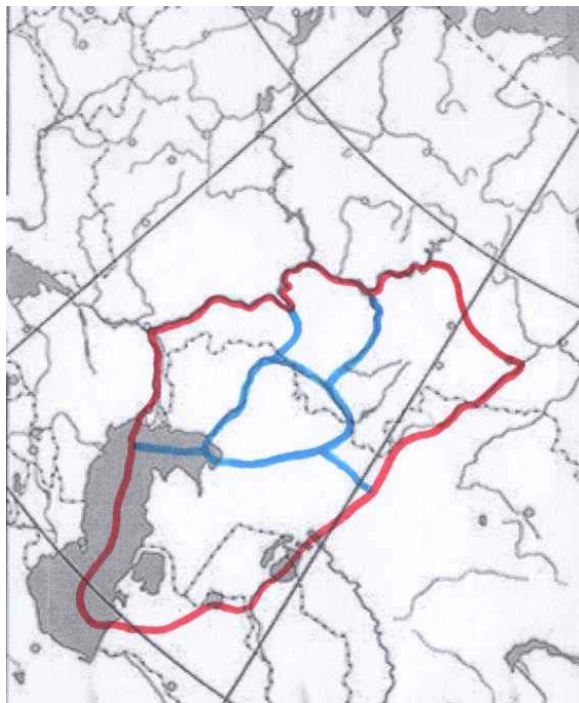


Рис. 1 – Границы областей денудации (зоны разрядки напряжений, потенциальных разрывов земного вещества) в пределах Волго-Уральской и Прикаспийской нефтегазовых провинций условно: первого (красные линии) и второго (голубые линии) рангов

Все эти современные трансформации природной среды свидетельствуют об изменении параметров процесса воздымания, расширении по площади центральной части области денудации (в данном случае третьего ранга), находящейся между Аралом и Каспийским морем.

Изменения Арала и его притоков не случайны. Наиболее слабые звенья в системе ЗРН условно первого ранга находятся в местах взаимодействия рр. Чусовой и Исети, а также противоположных притоков в Каспийское море и в Арал, в Арал и р. Тобол.

Области денудации меньшего ранга выявлялись с учетом характера сочленения транзитных потоков со своими противоположными активными притоками.

Известно, что узел сочленения транзитного потока с активным его притоком обладает свойством фрактальности, самоподобия, проявляющегося в разных масштабах [12]. Фрактальными свойствами обладает и структура, образованная 4-мя узлами данного типа, в которой реализуются связи двух относительно независимых транзитных потоков и их противоположных активных притоков [4]. Более крупное объединение таких структур состоит из пяти областей относительно меньшего ранга: одной – центральной и четырех – боковых. Относительно независимые потоки, функционирующие в ЗРН конкретного ранга и оконтуривающие центральную область, могут быть перехвачены одним из четырех связанных с ними потоков того же ранга при определенном понижении его местного базиса денудации.

В пределах выявленной области денудации условно первого ранга функционирует самый протяженный поток – Урал (см рис. 1). Он вместе со своими относительно крупными притоками – Эмбой (точка их сочленения находится на дне Каспийского моря) и Орью «обтекают» центральную часть – область денудации условно второго ранга (см. рис. 1, голубая линия). С этой областью связаны четыре крупных эрозионных вреза, ЗРН, в которых функционируют: поток в северной широтной части Каспия – продолжение р. Урала; связки противоположных притоков рр. Самары (Бузулук) и Урала (Чаган); Урала (Сакмары и ее притока) и р. Белой (участок с направлением транзитного движения на северо-запад); р. Иргиз. В результате определяются четыре области денудации того же ранга, что и центральная часть (см. рис. 1, голубые линии). Одна из них оконтурена рр. Камой, Чусовой, Исетью, Тоболом, Иргизом, Орью, Уралом (участок широтного простиранья), связкой противоположных притоков рр. Урала и Белой, р. Белой.

На рис. 2 показаны области денудации третьего условно ранга (синие линии). Для ориентировки также приведены отображенные на рис. 1 границы таких областей условно первого (красная линия) и второго (голубые линии) рангов.



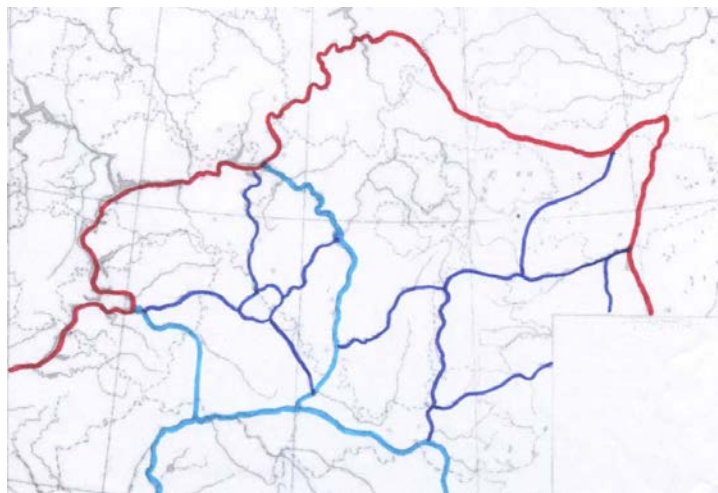


Рис. 2 – Границы областей денудации (зоны разрядки напряжений, потенциальных разрывов земного вещества) условно: *первого* (красные линии); *второго* (голубые линии); *третьего* (синие линии) рангов  
Примечание: См. также рис. 1

В частности одна из центральных областей (условно третьего ранга) оформляется рр. Тоболом, Уй, Уралом (участок меридионального простираения), противоположными притоками Тобола и Урала. Связанные с ней четыре относительно крупных эрозионных вреза (см. рис. 2, синие линии) представлены рр. Миасс (направление транзитного движения на северо-восток), Тоболом (участок широтного простираения с направлением на восток), Уралом (участок меридионального простираения с направлением транзитного движения на юг), Белой (с направлением транзитного движения на юго-запад).

Другая область того же второго (условно) ранга оконтурена рр. Самарой, Бузулуком, Чаганом, Волгой, Камой, Белой (с транзитным движением на северо-запад), связкой противоположных притоков Белой и Урала (слабое звено ЗРН второго ранга), Уралом (участок широтного простираения).

В данной области четыре крупных эрозионных вреза третьего ранга (см. рис. 2, синие линии) представлены рр. Самарой и Б. Кинелем; Демой; Ик; связкой рр. Салмыш и Демы (слабое звено ЗРН второго ранга).

Средняя область третьего ранга, таким образом, формируется связками противоположных притоков этих рек: Ик и Б. Кинеля; Ик и Демы; Демы и Б. Кинеля (слабые звенья ЗРН третьего ранга) и участком р. Б. Кинеля. Соответственно на пять частей более низкого ранга делятся и другие области денудации 2-го ранга, а также и сами области денудации третьего ранга.

#### Заключение

Полученная информация об областях денудации позволяет определить наиболее слабые звенья в системе зон разрядки напряжений разного ранга, где возможно усиление эрозионного расчленения территории. Участки границ областей денудации, в пределах которых функционируют связи противоположных по направлению гидро- и литодинамических потоков, потенциально опасны для объектов нефтегазового комплекса. Поэтому такая информация должна быть использована при разработке прогрессивных технологий как обустройства новых нефтегазовых месторождений, так и мониторинга уже разрабатываемых.

#### Финансирование

Работа выполнена в рамках госзадания.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Funding

The work was performed as part of the state assignment.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Чалов Р.С. Морфодинамика русел равнинных рек / Р.С. Чалов, А.М. Алабян, В.В. Иванов и др. // – М. : «ГЕОС». – 1998. – 288 с.
2. Алексеевский Н.И. Естественные и антропогенно обусловленные трансформации русел рек России (методология и география) / Н.И. Алексеевский, К.М. Беркович, Р.С. Чалов и др. // Эрозия почв и русловые процессы: сб. статей. – М.: изд-во МГУ, 2012. – С. 148–170.
3. Леонтьев О.К. Пересыпи на дне океана / О.К. Леонтьев // Природа. – 1975. – № 6. – С. 42–45.
4. Соколова Н.В. О роли единой системы непрерывных потоков вещества разного ранга в формировании внутренней структуры Земли [Электронный ресурс] / Н.В. Соколова // Актуальные проблемы нефти и газа: Электрон. науч. журн. – 2017. – Вып. 1(16). – URL: <http://oilgasjournal.ru> (дата обращения 02.08.2019). doi:10.29222/ipng.2078-5712.2017-16.art12.
5. Динамическая геоморфология: уч. пос. под ред. Г.С. Ананьева, Ю.Г. Симонова, А.И. Спиридонова. – М.: изд-во МГУ, 1992. – 448 с.
6. Соколова Н.В. Новая фактическая информация о пространственной самоорганизации потоков вещества земной поверхности разного ранга / Н.В. Соколова // Экология речных бассейнов: Труды 9-й Междунар. науч.-практ. конф. Суздаль 5–8 сентября 2018 г. / Под общ. ред. проф. Т.А. Трифионовой. – Владимир: "Аркаим", 2018. – С. 551–556.
7. Орлов В.И. Динамическая география / В.И. Орлов // – М.: «Научный мир», 2006. – 594 с.

8. Миртова И.А. Выявление характера непрерывных естественных изменений природных объектов по аэро- и космическим снимкам / И.А. Миртова, Н.В. Соколова // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 2. – С. 40–46.
9. Атлас мира. Отв. ред. А.Н. Баранов. – М.: ГУГК при МВД СССР. – 1954.
10. Карты генштаба СССР – архив топографических карт [Электронный ресурс]. – URL: <http://satmaps.info> (дата обращения 01.07.2019).
11. Свиточ А.А. История последнего Аральского моря / А.А. Свиточ // Аридные экосистемы. – 2009. – Т. 15, № 2 (38). – С. 1–17.
12. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт // – М.: «Институт компьютерных исследований», 2002 – 656 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Chalov R.S. Morfodinamika rusel ravninnykh rek [Morphodynamics of Beds of Flat Rivers] / R.S. Chalov, A.M. Alabyan, V.V. Ivanov, R.V. Lodina, A.V. Panin // – М.: “GEOS”. – 1998. – 288 p. [in Russian]
2. Alekseevskii N.I. Estestvennye i antropogenno obuslovlennye transformatsii rusel rek Rossii (metodologiya i geografiya) [Natural and Human Caused Transformations of Riverbeds of Russia (Methodology and Geography)] / N.I. Alekseevskii, K.M. Berkovich, R.S. Chalov, S.R. Chalov // Eroziya pochv i ruslovyie protsessy: sb. statey [Soil Erosion and Processes Occurring in River Beds: Coll. of articles]. – М.: Publishing House of Moscow State University, 2012. – P. 148–170. [in Russian]
3. Leontiev O.K. Peresypyi na dne okeana [Bay-Bar at the Bottom of the Ocean] / O.K. Leontiev // Priroda [Nature]. – 1975. – No.6. – P. 42–45. [in Russian]
4. Sokolova N.V. O roli edinoi sistemy nepreryvnykh potokov veshchestva raznogo ranga v formirovanii vnutrennei struktury Zemli [On the Role of a Single System of Continuous Flows of Matter of Different Ranks in the Formation of the Earth's Internal Structure] [Electronic resource] / N.V. Sokolova // Aktual'nyye problemy nefti i gaza [Topical Problems of Oil and Gas]: Electronic Scientific Journal – 2017. – Issue 1 (16). – URL: <http://oilgasjournal.ru> (accessed 02.08.2019). doi: 10.29222/ipng.2078-5712.2017-16.art12. [in Russian]
5. Dinamicheskaya geomorfologiya: uch. pos. pod red. G.S. Ananieva, Yu.G. Simonova, A.I. Spiridonova [Dynamic Geomorphology: Textbook under Editorship of G.S. Ananyev, Yu.G. Simonov, A.I. Spiridonov]. – М.: MSU Publishing House, 1992. – 448 p. [in Russian]
6. Sokolova N.V. Novaya fakticheskaya informatsiya o prostranstvennoi samoorganizatsii potokov veshchestva zemnoi poverkhnosti raznogo ranga [New Factual Information on Spatial Self-Organization of Flows of Matter on the Earth's Surface of Different Ranks] / N.V. Sokolova // Ekologiya rechnykh basseynov: Trudy 9-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Suzdal' 5–8 sentyabrya 2018 g [Ecology of River Basins: Proceedings of the 9th Intern. Research-to-Practice Conf. Suzdal September 5-8, 2018] / Under general. ed. of prof. T.A. Trifonova. – Vladimir: Arkaim, 2018. – P. 551–556. [in Russian]
7. Orlov V.I. Dinamicheskaya geografiya [Dynamic Geography] / V.I. Orlov // – М.: «Nauchnyi Mir», 2006. – 594 p. [in Russian]
8. Mirtova I.A. Vyyavlenie kharaktera nepreryvnykh estestvennykh izmenenii prirodnnykh obyektov po aero- i kosmicheskimi snimkam [Identification of Nature of Continuous Natural Changes in Natural Objects from Aerial and Satellite Images] / I.A. Mirtova, N.V. Sokolova // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"yemka [University proceedings. Geodesy and Aerial Photography]. 2015. – No. 2. – P. 40–46. [in Russian]
9. Atlas mira [Atlas of the World]. Resp. ed. A.N. Baranov. – М.: MDGC of the Ministry of Internal Affairs of the USSR. – 1954. [in Russian]
10. Karty genshtaba SSSR – arkhiv topograficheskikh kart [Maps of the General Staff of the USSR - Archive of Topographic Maps] [Electronic resource]. - URL: <http://satmaps.info> (accessed: 01.07.2019). [in Russian]
11. Svitoch A.A. Istoriya poslednego Aralskogo morya [History of the Last Aral Sea] / A.A. Svitoch // Aridniye ekosistemy Arid Ecosystems. – 2009. – V. 15. – No. 2 (38). – P. 1–17. [in Russian]
12. Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirody [Fractal Geometry of Nature] / B. Mandelbrot // – М.: “Institute for Computer Research,” 2002 – 656 p. [in Russian]



DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.012>**СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ТЕХНОСФЕРНЫХ ПОЖАРОВ: ОПЫТ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.**

Научная статья

**Ващалова Т.В.<sup>1,\*</sup>, Гармышев В.В.<sup>2</sup>, Дубровин Д.В.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0006-0002-5740-0959,<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;<sup>2</sup> ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия;<sup>3</sup> Главное управление МЧС России по Иркутской области, Российская Федерация, Иркутск, Россия

\* Корреспондирующий автор (VTV\_53[at]mail.ru)

**Аннотация**

Техносферные пожары рассматриваются как один из частных рисков устойчивому развитию регионов России. Пространственная дифференциация их частоты связана с рядом социально-экономических характеристик регионов, прямо или косвенно характеризующих подверженность их инфраструктуры пожарам а также степень рискогенности поведения населения. Численный анализ выполнен для периода 2007-2016 гг. Для страны в целом значимыми характеристиками оказались коэффициент общей преступности, душевые продажи водки, удельное число людей, проживающих в домах для престарелых и инвалидов, уровень душевых доходов относительно прожиточного минимума. В группах регионов, ранжированных по величине отклонения от среднего совокупности значимость этих показателей неодинакова. В отдельных ранговых группах значимыми оказались социально-экономические показатели, не являющиеся таковыми для страны в целом: доля ветхого жилья и жилья, оборудованного центральным отоплением, доля лиц состоящих на учете по причине алкоголизма, уровень фактического конечного потребления и безработицы.

**Ключевые слова:** техносферные пожары, регионы России, социально-экономические характеристики, статистический анализ.

**OCIO-ECONOMIC FACTORS OF TECHNOSPHERIC FIRES: EXPERIENCE OF STATISTICAL ANALYSIS**

Research article

**Vashchalova T.V.<sup>1,\*</sup>, Garmyshev V.V.<sup>2</sup>, Dubrovin D.V.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0006-0002-5740-0959,<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow, Russia;<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia;<sup>3</sup> Main Directorate of the Ministry of Emergencies of Russia for the Irkutsk Region, Irkutsk, Russia

\* Corresponding author (VTV\_53[at]mail.ru)

**Abstract**

Technospheric fires are considered as one of the risks to the sustainable development of the Russian regions. Spatial differentiation of their frequency is associated with a number of socio-economic characteristics of the areas that directly or indirectly describe the susceptibility of their infrastructure to fires and the degree of risk-taking behavior among the population. Numerical analysis for the period of 2007-2016 was performed. For the country as a whole, the overall crime rate, per capita sales of vodka, specific number of disabled people, and people living in nursing homes, the level of per capita income relative to the subsistence minimum were significant characteristics. In the groups of regions ranked by the deviation from the average population, the significance of these indicators is not the same. In certain ranking groups, socio-economic indicators that did not describe the country as a whole turned out to be significant: share of dilapidated housing and housing equipped with central heating, share of people registered as alcoholics, the level of actual final consumption and unemployment.

**Keywords:** technospheric fires, regions of Russia, socio-economic characteristics, statistical analysis.

**Введение**

К техносферным относятся все пожары, возникшие на объектах, созданных в процессе хозяйственной деятельности человека или общества, вне зависимости от конкретной причины, вызвавшей возгорание. В контексте географических исследований анализ пространственной дифференциации их характеристик, а также причин и условий ее определяющих, выполняется в рамках разработки проблематики устойчивого развития.

Техносферные пожары – один из частных видов рисков, создающих угрозу устойчивому развитию территорий своими разрушительными, но, в большей степени, истощающими эффектами. Их воздействию подвергается как экономический потенциал регионов, так и качество жизни населения. Разработка стратегии снижения рисков, в том числе, предполагает выявление всех возможных причин и условий их возникновения а также ранжирование по степени значимости.

Ежегодная частота техносферных пожаров в РФ существенно меняется от региона к региону. Разница между максимумом и минимумом достигает порядка (средняя за 2007-2016 от 31 до 310 ед./100 тыс. чел). Очевидное разнообразие сочетания факторов, которые можно априори считать влияющими на частоту техносферных пожаров в

регионах России, мотивирует исследователей на их изучение на региональном (или макрорегиональном), а не только общероссийском уровне.

За всю историю пожарной статистики (со второй половины 19 в.) ведущим объектом пожаров было жилье – собственно жилые помещения а также функционально связанные с ним объекты. Последнее особенно характерно для сельской местности и индивидуальной застройки городских территорий. Как и с объектами пожаров, традиционно ведущей их причиной является неосторожность. В современную эпоху к ней добавились нарушения в правилах устройства и эксплуатации различных электрических и нагревательных приборов.

Локализация основного числа пожаров в указанных полях их причин и объектов привлекает внимание к анализу условий и образа жизни (в широком смысле слова) индивидуумов и социальных групп как одного из базовых источников, влияющих на подверженность инфраструктуры загораниям и рискогенность поведения людей в сфере пожарной безопасности. Разработка этой сложной проблемы лежит в значительной мере в предметном поле гуманитарных наук, но пока не привлекает должного внимания. В этой ситуации задачей географического подхода становится выявление и ранжирование климатических и социально-экономических характеристик регионов прямо или косвенно влияющих на частные характеристики риска техносферных пожаров.

Современный опыт их изучения невелик и принадлежит специалистам Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (ВНИИПО). Итоговые выводы сделаны для страны в целом. Так, в [5] на статистическом материале показано, что в среднем по стране метео-климатические характеристики определяют около половины дисперсии частоты техносферных пожаров.

В работах [7] и [4] выполнен статистический анализ связи комплекса социально-экономических характеристик регионов России и технико-экономических показателей региональных пожарных служб с частотой техносферных пожаров. Целью исследования являлась оптимизация деятельности Государственной противопожарной службы. По этой причине в публикациях не отражено влияние социально-экономических условий на пространственную дифференциацию частоты пожаров. В методическом плане отмечена сложность интерпретации результатов регрессионного и факторного анализов всей совокупности проанализированных характеристик для страны в целом. Последнее было принято во внимание авторами в настоящем исследовании.

Учитывая сказанное выше, целью настоящего исследования является анализ социально-экономических показателей, связанных с частотой пожаров, как в целом по стране, так и в отдельных группах регионов. Его результаты позволят наметить направления и объекты дальнейшего изучения региональных особенностей населения и хозяйства, объясняющих пространственную динамику частоты техносферных пожаров.

#### **Методы и принципы исследования**

Исследование построено на сравнительном анализе социально-экономических характеристик регионов России, ранжированных по частоте техносферных пожаров. Очевидно, что этот материал не может охватить все причины и условия возникновения техносферных пожаров. В ряде случаев использованные показатели являются их опосредованными характеристиками.

Источниками информации по пожарам послужили ежегодники ВНИИПО «Пожары и пожарная безопасность» [6]. Социально-экономическая информация почерпнута из изданий Федеральной службы государственной статистики РФ: «Регионы России» [8], «Здравоохранение в России» [3].

Базовый период осреднения данных – 2007-2016 гг. Его выбор определялся в значительной степени: 1) возможностью синхронизировать данные из разных источников; 2) неизменностью объема и формата подачи статистического материала в каждом из указанных типов источников. Информация по Республике Крым и г. Севастополю осреднена за 2015-2016 гг.

Исследование выполнено в мелком масштабе: пространственной единицей анализа является субъект РФ. Кажущаяся неправомерность сопоставления небольших по площади субъектов РФ Европейской территории страны и гигантов ее Азиатской части снимается тем фактом, что в последних масса населения, значимая для частоты техносферных пожаров, сосредоточена на ограниченных пространствах.

В основу анализа статистической информации положено ранжирование регионов страны по частоте пожаров, приходящихся на 100 тыс. человек населения. Распределение носит нормальный характер. Разбиение на ранги выполнялось с шагом  $\pm 0,5$  стандартного отклонения от среднего. С целью формирования максимально однородной (по набору причин и условий возникновения пожаров) совокупности процедура ранжирования выполнялась трижды. На каждом следующем этапе из выборки исключались регионы, расположившиеся за пределами двух среднеквадратических отклонений от среднего. В итоговый массив вошло 92% субъектов РФ (78 регионов). Отдельного рассмотрения требует ситуация в следующих регионах: Приморский и Хабаровский края, Республика Тыва, Магаданская и Амурская области, Еврейская АО.

При первичном отборе социально-экономических показателей обстановки в регионах авторы руководствовались опытом предыдущих исследований [1], [4], [7], сводными данными по первопричинам, источникам и виновникам пожаров в [6], а также исследованиями в области социальной психологии, например [2].

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программ Excel и Statistica. Для всей совокупности данных и всех первоначально отобранных социально-экономических показателей был выполнен регрессионный анализ. Затем массив данных был проверен на их соответствие нормальному распределению и на возможность аппроксимации временной динамики каждой характеристики линейной зависимостью. Последней соответствует распределение во времени частоты техносферных пожаров. Не отвечающие этим критериям характеристики были исключены из дальнейшего численного анализа. На заключительном этапе использованы результаты расчета основных статистик - коэффициента парной корреляции (для тех групп ранжированного ряда, количество которых отвечало критериям достоверности получаемых результатов) и среднего арифметического частных массивов данных (для всех показателей).

## Результаты и обсуждение

Внутри блока социально-экономических показателей могут быть выделены следующие группы: 1) характеристики физических особенностей объектов пожаров (доля ветхого жилья в жилом фонде региона; доля жилого фонда, оборудованная центральным отоплением); 2) характеристики численности групп населения, которые, в силу особенностей своего состояния, могут создать пожароопасную ситуацию (лица, страдающие алкоголизмом и состоящие на учете; доля лиц, проживающих в интернатах для престарелых и инвалидов; коэффициент общей преступности; уровень общей безработицы); 3) фактическое конечное душевое потребление домохозяйств (ФПК) как индикатор уровня благосостояния последних и их экономической способности обеспечить пожарную безопасность с технической точки зрения; 4) объемы продажи водки и всей алкогольной продукции как дополняющие сведения о вероятности возникновения пожара по вине лиц, находящихся в состоянии алкогольного опьянения. Все характеристики – безразмерные.

Уравнение множественной регрессии с учетом значимости коэффициентов при независимых переменных имеет вид:

$$Y=23,2+0,34 X_1+0,3 X_2+0,26 X_3-0,24 X_4, \quad (1)$$

где  $Y$  – частота техносферных пожаров;  $X_1$  – коэффициент общей преступности;  $X_2$  – душевые объемы продажи водки;  $X_3$  – численность контингента обитателей домов для престарелых и инвалидов (на 10 тыс. человек населения);  $X_4$  – соотношение среднедушевых доходов и прожиточного минимума.

Скорректированный коэффициент детерминации равен 0,6, т.е. данные социально-экономические параметры объясняют 60% дисперсии значений частоты техносферных пожаров для страны в целом ( $F=12,5$ ;  $p=0,00$ ).

Если прямое влияние трех первых независимых переменных на частоту пожаров понятно, то обратная связь с душевым соотношением доходов и регионального прожиточного минимума требует дополнительного исследования. На данном этапе можно предположить, что она действует через ограничение возможности насыщения жилья небогатого населения многочисленными и/или энергоемкими бытовыми приборами, нередко вызывающими перегрузку старых электросетей, короткое замыкание и пожар.

В результате ранжирования регионов страны по частоте техносферных пожаров выделены следующие группы (табл. 1).

Таблица 1 – Ранжирование регионов РФ по частоте техносферных пожаров

Частота пожаров ниже среднего					
-2,5σ*	-2σ	-1,5σ	-1σ	-0,5σ	
Дагестан**	Курская, Чеченская	Белгородская, Адыгея, Северная Осетия-Алания, Ингушетия, Ставропольский	Санкт-Петербург, Калужская, Москва, Московская, Орловская, Рязанская, Тверская, Тульская, Мордовия, Чувашия, Липецкая, Тамбовская, Татарстан, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкесия, Краснодарский, Ростовская, Удмуртия, Пермский, Крым, Севастополь	Ненецкий, Вологодская, Владимирская, Костромская, Ярославская, Нижегородская, Воронежская, Калмыкия, Пензенская, Самарская, Саратовская, Ульяновская, Башкирия, Свердловская, Новосибирская, Томская, Тюменская	
Частота пожаров выше среднего					
+0,5σ	+1 σ	+1.5 σ	+2σ	+2,5σ	+3σ
Коми, Ленинградская, Псковская, Ивановская, Смоленская, Астраханская, Волгоградская, Оренбургская, Челябинская, Чукотский	Брянская, Мари-Эл, Алтайский, Кемеровская, Омская, Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий, Хакасия, Красноярский	Архангельская, Мурманская, Калининградская, Новгородская, Кировская, Курганская, Бурятия, Иркутская	Алтай, Забайкальский, Саха-Якутия, Камчатский	Сахалин	Карелия

Примечания: \* σ – стандартное отклонение для всего массива данных; \*\* для уменьшения размеров таблицы использованы лишь имена собственные субъектов РФ

В распределении регионов относительно средней для страны частоты пожаров просматривается тенденция к ее возрастанию с юга на север и с запада на восток, в направлении возрастания суровости климата. Это согласуется с результатами изученного ранее влияния метео-климатических условий на частоту пожаров [5].

Для малых выборок ранжированных рядов, отстоящих от среднего совокупности на  $+0,5\sigma$  (Коми и т.д. в таблице);  $-0,5\sigma$  (Ненецкий и т.д.);  $-1\sigma$  (Санкт-Петербург и т.д.) рассчитаны коэффициенты парной корреляции с социально-экономическими характеристиками, включенными в итоговый анализ (значимость проверена по критерию Стьюдента). Результат представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Значимые коэффициенты парной корреляции социально-экономических характеристик регионов, входящих в ранги, наиболее близкие к среднему выборки

Ранг	Ветхое жилье	Центральное отопление	ФПК	Безработные	Контингент домов престарелых и инвалидов	Преступность	Больные алкоголизмом	Продажи водки	Продажи алкоголя в целом
$-0,5\sigma$ (Ненецкий и др.)		-0,52	0,32	-0,63		0,37		0,39	0,57
$-1\sigma$ (Санкт-Петербург и др.)	0,54			0,39	0,56	0,65	0,43	0,63	
$+0,5\sigma$ (Коми и др.)		-0,72			0,44			0,55	

Из показателей, характеризующих подверженность инфраструктуры регионов пожарным рискам, величина доли жилья, оборудованного центральным отоплением, значимо связана с частотой пожаров в регионах, преимущественно расположенных в северной части ЕТР а также в Среднем Поволжье, на Среднем Урале и юге Западной Сибири, т.е на территориях с продолжительным отопительным периодом и низкими температурами воздуха. Для центральных и южных регионов ЕТР, среди которых много староосвоенных территорий, значимой оказалась связь с долей ветхого жилья в жилом фонде.

Среди значимых показателей, характеризующих социальные группы с повышенным риском «пожароопасного» поведения и не оказавшихся таковыми для общероссийской выборки - уровень общей безработицы и доля людей стоящих на учете по причине алкоголизма. Оба они имеют прямые связи с группой регионов центра и юга ЕТР. У ранга « $-0,5\sigma$ » обратная связь с уровнем общей безработицы.

Для остальных рангов, в силу малого размера выборок (1-8 ед.), корреляционный анализ не мог быть применен. В отношении них выполнено сравнение средних арифметических и характер их динамики от ранга к рангу. Направленная динамика отмечена не для всех показателей и не во всех ранговых группах регионов.

Так, для групп регионов, в которых значения частоты техносферных пожаров выше среднего общероссийской выборки (« $+ \sigma$ » и больше), рост частоты пожаров сопровождается ростом душевых продаж водки и алкогольной продукции в целом для всех рангов. Для уровня общей безработицы и удельного числа лиц, состоящих на учете по причине алкоголизма направленность тренда меняется на противоположную в рангах (более  $+2\sigma$ ), включающих Республики Алтай и Саха-Якутия; Забайкальский и Камчатский края; Сахалинскую область а также Республику Карелия. Здесь с ростом частоты пожаров значения первого показателя уменьшаются, второго – растут. Объяснение факта смены направления тренда требует дополнительных исследований.

В группе регионов, где частота пожаров ниже средней по стране, ее сокращение сопровождается снижением уровня преступности, числа больных алкоголизмом, контингента домов престарелых и продажами алкоголя.

Особняком стоит ситуация с динамикой социально-экономических показателей для рангов, в состав которых входят республики Северного Кавказа. Наиболее яркое выражение она приобретает в Дагестане – единственном регионе крайнего «отрицательного» ранга. Здесь наименьшая частота пожаров отмечена на фоне высокой доли ветхого жилого фонда, невысокой доли жилья, оборудованного центральным отоплением, минимальной численности проживающих в домах престарелых и инвалидов и уровнем продаж водки на душу населения выше среднего для рангов с частотой пожаров ниже среднего.

Важно отметить также, что в регионах с повышенной частотой пожаров в среднем за период отмечается миграционный отток населения (для первых трех рангов – последовательно увеличивающийся). В то же время, в противоположной группе – средний за период коэффициент миграционного прироста положителен (кроме Дагестана). Влияние миграций, возможно, проявляется через изменение численности разных возрастных групп населения и их физиолого-психологических способностей контролировать пожарную безопасность в быту и на производстве. Этот вопрос требует дополнительного изучения.

### Заключение

Анализ социально-экономических причин и условий, значимых для частоты техносферных пожаров, выполненный для страны в целом, не достаточно полно отражает влияние всех включенных в рассмотрение показателей. Его объясняющие возможности возрастают при переходе к группам регионов, более малочисленным и однородными по ряду признаков. Эти группы могут быть сформированы как по формальному (как в данном исследовании), так и иному объективному основанию. Последнее может способствовать интерпретации некоторых результатов, не получивших исчерпывающего объяснения на данной стадии исследования. Это относится, прежде всего, к ряду регионов Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, республикам Северного Кавказа, Республике Карелия.

Из числа рассмотренных показателей наибольшую значимость для частоты пожаров в стране в целом имеют такие социально-экономические характеристики, как общий коэффициент преступности, душевые объемы продажи водки, удельная численность контингента домов для престарелых и инвалидов а также соотношение среднедушевых доходов с величиной прожиточного минимума. На качественном уровне фиксируется также влияние миграционного притока/оттока населения в рангах регионов частотой пожаров выше и ниже среднего по стране.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы/ References.**

1. Ващалова Т.В. Социальные факторы техносферной аварийности: опыт анализа статистики / Т.В. Ващалова // Социологические исследования. - 2006. - №1. С.65-72
2. Глуханюк Н.С. Психология безработицы: введение в проблему. / Глуханюк Н.С., Колобкова А.И., Печеркина А.А./ - М.: МПСИ, 2003. - 88 с.
3. Здравоохранение в России. М.: Росстат.- 2009... 2017 гг.
4. Климкин В.И. Анализ влияния последствий пожаров на устойчивость социально-экономического развития регионов Российской Федерации. / Климкин В.И., Матюшин А.В., Порошин А.А. и др.//Пожарная безопасность.- 2012. - №1. С.74-84
5. Мешалкин Е.А. Геофизические факторы и обстановка с пожарами в России. / Мешалкин Е.А., Фирсов А.Г., Порошин А.А.// В сборнике: Обеспечение организационно-управленческой деятельности Государственной противопожарной службы. - М.: ВНИИПО. - 2000. - с. 22-33
6. Пожары и пожарная безопасность в 2007 ... 2016 г. М.: ВНИИПО.- 2008 – 2017 гг.
7. Порошин А.А. Разработка организационно-экономических механизмов регулирования уровня пожарной безопасности в социально-экономических системах./ Порошин А.А. // В сборнике: Научно-техническое обеспечение противопожарной службы. М.: ВНИИПО МВД РФ. – 1994. - с. 57 – 75
8. Регионы России. Социально-экономические показатели. М.: Росстат. – 2008... 2017 гг.

**Список литературы на английском языке/ References in English**

1. Vashchalova T.V. Sotsialnye faktory tekhnosfernoi avariinosti: opyt analiza statistiki [Social Factors of Technospheric Accident Rate: Experience in Analyzing Statistics] / T.V. Vashchalova // Sotsiologicheskiye issledovaniya [Sociological Studies]. – 2006. – No. 1. P.65-72 [in Russian]
2. Glukhanyuk N.S. Psikhologiya bezrobotitsy: vvedenie v problemu. [Psychology of Unemployment: Introduction to the Problem] / Glukhanyuk N.S., Kolobkova A.I., Pecherkina A.A. – М.: MPSI, 2003. – 88 p. [in Russian]
3. Zdravookhraneniye v Rossii [Healthcare in Russia]. М.: Rosstat. – 2009... 2017 [in Russian]
4. Klimkin V.I. Analiz vliyaniya posledstviy pozharov na ustoychivost sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya regionov Rossiiskoj Federatsii [Analysis of the Effects of Fires on the Sustainability of Socio-Economic Development of the Regions of the Russian Federation] / Klimkin V.I., Matyushin A.V., Poroshin A.A. et al. // Pozharnaya bezopasnost [Fire Safety]. – 2012. – No. 1. – P. 74-84 [in Russian]
5. Meshalkin E.A. Geofizicheskie faktory i obstanovka s pozharemi v Rossii. [Geophysical Factors and Situation with Fires in Russia] / Meshalkin E.A., Firsov A.G., Poroshin A.A. // V sbornike: Obespecheniye organizatsionno-upravlencheskoy deyatel'nosti Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby [In the collection: Organizational and Managerial Activities of the State Fire Service] - М.: VNIPO. - 2000. - p. 22-33. [in Russian]
6. Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2007 ... 2016 g. [Fires and Fire Safety in 2007... 2016] М.: VNIPO. – 2008 – 2017. [in Russian]
7. Poroshin A.A. Razrabotka organizatsionno-ekonomicheskikh mekhanizmov regulirovaniya urovnya pozharnoi bezopasnosti v sotsialno-ekonomicheskikh sistemakh. [Development of Organizational and Economic Mechanisms for Regulating the Level of Fire Safety in Socio-Economic Systems] / Poroshin A.A. // V sbornike: Nauchno-tekhnicheskoye obespecheniye protivopozharnoy sluzhby [In the collection: Scientific and technical support of the fire service]. – М.: VNIPO MIA of Russia. – 1994. – P. 57 – 75 [in Russian]
8. Regiony Rossii. Sotsialno-ekonomicheskie pokazateli [Socio-Economic Indicators]. М.: Rosstat. – 2008... 2017. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.013>**ЗАВИСИМОСТЬ ПРОБЫ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТ СОСТАВА ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД**

Научная статья

**Нерода О.Н.<sup>1</sup>, Остапенко Н.С.<sup>2</sup>\***<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1265-9203;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-9301-3684;<sup>1,2</sup> Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия

\* Корреспондирующий автор (ostapenko\_ns[at]mail.ru)

**Аннотация**

Обычно считается, что проба золота гидротермальных месторождений определяется типами источников исходных флюидов, соотношениями Au и Ag в них, P, T и глубинами формирования месторождений и составами сопутствующих минеральных парагенезисов. В данном исследовании показана определяющая роль дополнительного фактора – типа щелочности рудовмещающих пород. В процессе предрудного и синрудного метасоматоза они могут дополнительно обогащать глубинные флюиды Na или K, что может значительно менять растворимость в них Au и Ag. На примере трех золоторудных месторождений установлена следующая зависимость. Терригенные породы Na-K специализации месторождения Токур (Россия) лишь незначительно меняли соотношение Na / K в исходных калиевых флюидах, вследствие этого в рудах отлагалось золото промежуточной и низкой пробы (811–691%). Флюиды месторождений Одолго (Россия) и Калгурли (Австралия), формировавшихся в породах Na специализации, в процессе метасоматоза значительно обогащались натрием. Проба золота, отлагавшегося в рудах этих месторождений выше 900%.

**Ключевые слова:** месторождение золота, вмещающие породы, проба золота.**DEPENDENCE OF STANDARD OF FINENESS OF FREE GOLD OF HYDROTHERMAL DEPOSITS ON COMPOSITION OF HOST ROCKS**

Research article

**Neroda O.N.<sup>1</sup>, Ostapenko N.S.<sup>2</sup>\***<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1265-9203;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-9301-3684;<sup>1,2</sup> Institute of Geology and Nature Management, FEB RAS, Blagoveshchensk, Russia

\* Corresponding author (ostapenko\_ns[at]mail.ru)

**Abstract**

It is generally believed that the standard of fineness of gold of hydrothermal deposits is determined by the types of sources of the initial fluids, the ratios of Au and Ag in them, P, T and the depths of deposits formation as well as the composition of the host mineral paragenesis. This study shows the decisive role of an additional factor and namely the alkalinity of ore-bearing rocks. In the process of presteral and synergistic metasomatism, they can additionally enrich deep Na or K fluids, which, in turn, can significantly change the solubility of Au and Ag in them. Using the example of three gold ore deposits, the following relationship is established. Terrigenous rocks of Na-K specialization of the Tokur deposit (Russia) have slightly changed the Na/K ratio in the initial potassium fluids; as a result, intermediate and low-grade gold was deposited in ores (811–691 %). The fluids of the Odolgo (Russia) and Kalgoorlie (Australia) deposits, which were formed in the Na specialization rocks, were significantly enriched in sodium during metasomatism. The standard of fineness of gold deposited in the ores of these deposits is above 900 %

**Keywords:** gold deposit, host rocks, standard of fineness of gold.**Введение**

В рудах золоторудных гидротермальных месторождений мира проба самородного золота широко варьирует (от n=100 до 1000‰). Это отчетливо наблюдается не только от месторождения к месторождению, но нередко и в рудных телах одного месторождения. Причины этого явления исследователи видят в различиях глубин формирования месторождений, температур отложения продуктивных парагенезисов золота, от минеральных составов его парагенезисов в рудах [1], а также от типов рудоформирующих флюидов (по кислотности-щелочности и хлоридности) [2], [3], и соотношений в них содержаний золота и серебра [2]. Вместе с тем, на основе данных широкомасштабного изучения многими исследователями флюидных включений в минералах руд различных месторождений золота, установлено, что катионный и анионный составы реликтов рудообразующих флюидов во многом стандартны. В них присутствуют одни и те же группы катионов, анионов, газовых компонентов [3], но их количественные соотношения переменные. Это свидетельствует о своеобразии состава и последующей эволюции поступающих глубинных флюидов на каждом месторождении по мере их взаимодействия с вмещающими породами, остывания и разгрузки. Минералоотложение на каждом из золоторудных месторождений происходило в несколько стадий, из них продуктивными на золото являлись либо одна, либо несколько.

Проба отлагавшегося золота зависела от множества из вышеперечисленных факторов (причин), влиявших на эволюцию флюида. Мы считаем необходимым дополнить вышеизложенный перечень фактором влияния исходного состава вмещающих пород на эволюцию состава флюида, в том числе на изменение в нем соотношений концентрации и активностей Na и K. Влияние этого фактора исследователями изучено пока ещё недостаточно.

Предрудный и синрудный метасоматоз большого объема вмещающих пород, несомненно, вызывал глубокое преобразование состава «исходного» флюида и изменение параметров его pH, Eh и концентрации компонентов и, что особенно важно, на изменение его качественной щелочности (Na / K). В соответствии с [3], [4, С. 234], существенное преобладание концентраций того или иного из них могло отразиться на растворимости и устойчивости комплексов благородных металлов во флюидах на этапах их переноса и отложения и, соответственно, на составе кристаллизующегося золота. Ранее нами [5] была подмечена зависимость пробы золота, отложенного в рудных телах месторождений Селемджинского рудного района Приамурья от соотношения концентраций Na и K во вмещающих породах и подвижности этих элементов в процессах их околорудного метасоматоза. Рассмотрим детальнее эту особенность рудоформирования на примерах трех золоторудных месторождений различных рудных районов России и Австралии, размещающихся в различающихся по составу и натриевости вмещающих породах.

На месторождениях по намеченным профилям через минеральные зоны и околожилные метасоматиты были отобраны образцы исходных и метасоматизированных пород. Проведены исследования под микроскопом их минерального состава, а по результатам сопоставления силикатных анализов тех и других оценено влияние исходных пород на эволюцию поступающего металлоносного флюида. Так как количественный состав исходного глубинного металлоносного флюида, поступавшего в рудолокализирующие структуры не известен, его эволюцию под влиянием взаимодействия с вмещающими рудные тела породами мы оцениваем по показателю относительного изменения его натриевости:  $\pm \Pi \frac{Fl}{Na} = n_1 + n_2$  [5]. Этот показатель рассчитывался как сумма количеств  $n_1 (\pm Na_2O)$  и  $n_2 (\pm K_2O)$  в мас.%, поступивших (+) во флюид из пород при их метасоматозе и их количеств, расходуемых (-) флюидом на метасоматоз пород.

#### Краткая характеристика геологии и состава вмещающих пород и руд месторождений золота

**Месторождение Одолго** размещается в Становой складчатой области Приамурья (рис. 1), в метаморфических породах докембрийского возраста, представленных гнейсами, кристаллическими сланцами и прорывающими их гранитоидами древнестанового комплекса. Рудовмещающие гнейсы имеют повышенную основность и отчетливую натриевую «специализацию».

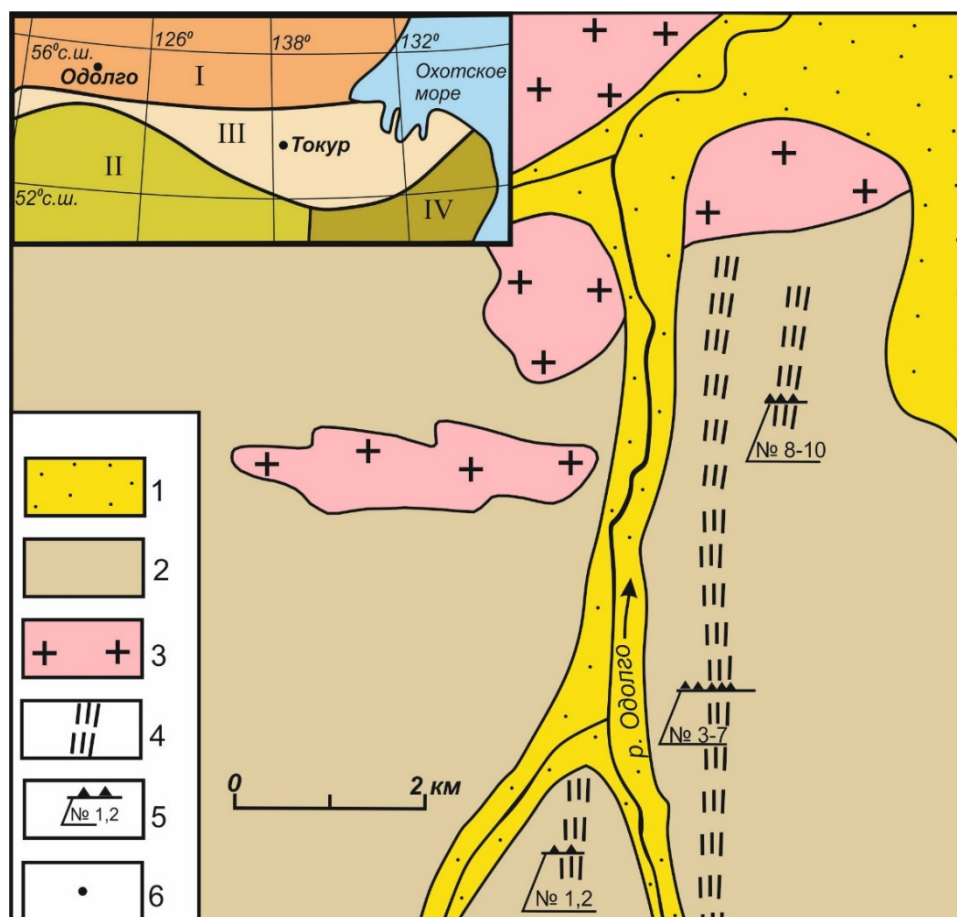


Рис. 1 – Схема геологического строения месторождения Одолго

1 – аллювий; 2 – серые гнейсы с прослоями амфиболитов и гранатосодержащих сланцев докембрия; 3 – докембрийские средне- и мелкозернистые гнейсовидные гранодиориты и пегматоидные граниты; 4 – зоны кварц-мусковитовых метасоматитов; 5 – места отбора образцов и их номера; 6 – положение месторождений на врезке.

Примечание: на врезке: I–IV – основные геологические структуры: I – докембрийская становая складчатая область, II – Амурский микроконтинент, III и IV – соответственно Монголо-Охотский палеозойский и Сихоте-Алинский мезозойский складчатые пояса

В этих породах выявлены три субвертикальные золотоносные зоны мусковитизации субмеридионального простирания мощностью по несколько десятков метров каждая. Составы исходных пород и метасоматитов приведены

в таблице 1. В зонах метасоматитов присутствуют будины и линзы кварца. Золото присутствует в кварце и в мусковитизированных породах с вкрапленностью магнетита.

Таблица 1 – Составы вмещающих пород и метасоматитов месторождения Одолго и показатели изменения натриевости рудовмещающего флюида  $\Pi_{Na}^{Fl}$  по данным авторов

Компоненты	Зона метасоматитов № 1			Зона метасоматитов № 2					Зона метасоматитов № 3			
		0–5 м <sup>1</sup>	Привнос (+) вынос (-)	0–5 м <sup>1</sup>	10–15 м <sup>1</sup>	15–25 м <sup>1</sup>	25–30 м <sup>1</sup>	Привнос (+) вынос (-)		0–5 м <sup>1</sup>	5–9 м <sup>1</sup>	Привнос (+) вынос (-)
	1	2		3	4	5	6		7	8	9	
SiO <sub>2</sub>	58,27	60,09	+	57,61	53,21	65,32	68,80	+	55,90	55,70	53,47	–
TiO <sub>2</sub>	1,11	1,11		1,01	1,35	0,30	0,44		1,18	1,38	1,25	+
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,32	19,07	+	17,86	23,94	18,58	16,80		19,06	21,91	24,12	+
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,70	5,27	+	3,06	9,14	2,26	2,35		4,00	5,83	9,30	+
FeO	3,00	1,46	–	3,37	1,13	1,36	0,75	–	3,36	2,61	0,60	–
MnO	0,13	0,12		0,12	0,07	0,11	0,12	–	0,23	0,14	0,11	–
MgO	2,69	1,24	–	2,81	1,03	1,30	1,15	–	2,75	1,70	1,10	–
CaO	6,27	2,49	–	6,63	0,53	1,10	0,50	–	6,53	2,46	0,65	–
SO <sub>3</sub>	–	0,02	+	–	–	–	–		–	–	–	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,23	0,25		0,30	0,18	0,06	0,08	–	0,24	0,21	0,16	–
H <sub>2</sub> O	0,92	2,13	+	0,51	1,38	1,01	1,04	+	0,72	1,48	1,06	+
ППП	–	–		0,20	1,41	1,16	0,88	+	0,50	0,69	2,04	+
Na <sub>2</sub> O	3,58	0,94	–2,64	3,39	2,46	2,84	2,40	–	3,39	2,55	1,58	–
K <sub>2</sub> O	2,28	6,60	+4,32	2,65	3,86	5,32	5,52	+	2,88	5,42	8,14	+
Na/K	1,6	0,14		1,3	0,64	0,53	0,45		1,2	0,47	0,22	
$\Pi_{Na}^{Fl}$			+6,96 <sup>2</sup>	+0,6 <sup>2</sup>	+2,7 <sup>2</sup>	+3,8 <sup>2</sup>	+4,42 <sup>2</sup>			+3,38	+7,07	

Примечание: <sup>1</sup> расстояния мест отбора образцов от краевых зон метасоматитов к их средней части.

Образцы пород: 1 – неизменный биотит–амфиболовый гнейс с гранатом; 2 – мусковитовый метасоматит; 3 – биотит–амфиболовый гнейс с кварц–полевошпатовыми прожилками; 4 – магнетит–мусковитовый метасоматит; 5 и 6 – мусковитовые метасоматиты; 7 – неизменный биотит–амфиболовый гнейс; 8 – мусковитизированный гнейс; 9 – магнетит–мусковитовый метасоматит;

<sup>2</sup> рассчитаны относительно состава неизменного гнейса образца 1

**Месторождение Калгурли** (Западная Австралия) размещается в зеленокаменном поясе Nottseman Wiluna тектоноблока Йилгарн. Оно характеризуется по материалам [6], [7], [8]. Это крупнейшее по запасам золота (более 1500 т) месторождение сформировалось в наиболее интенсивно тектонически нарушенном и метасоматизированном блоке пород протяженностью более 4 км, шириной около 1500 м. Вмещающими являются архейские комплексы пород основного состава – покровные базальты, долериты, силлы габбро-долеритов и ультрабазитов с прослоями осадочных пород. Они метаморфизованы в зеленые сланцы и амфиболиты. Территория рудного поля фрагментирована на ряд тектонических блоков, смещенных относительно друг друга по разломам северо-западного простирания. Золото-сульфидная с теллуридами минерализация контролировалась серией крутозалегающих сближенных параллельных, либо сопрягающихся под острыми углами, нарушений основного северо-западного и второстепенного меридионального и северо-восточного простираний. Узлы их пересечений контролировали поступление флюидов, широко проявленный предрудный хлорит-альбит-карбонат-серицит-кварцевый метасоматоз пород и формирование рудных тел мощностью 0,1–10 м с вкрапленностью, гнездами и прожилками пирита, других сульфидов, блеклых руд и теллуридов в ассоциации с кварцем. Химический состав исходных пород и метасоматитов приведен в таблице 2 по [9].



Таблица 2 – Химический состав (в мас.%) вмещающих амфиболитов и метасоматитов золоторудного месторождения Калгурли и показатель изменения натриевости  $\Pi_{Na}^{Fl}$  флюида в процессе предрудного метасоматоза.

Компоненты	Амфиболит неизмененный Обр. 3231*	Метасоматиты		Привнос (+) в породы и вынос (–) компонентов из них при метасоматозе	
		хлорит- серицит- карбонат- пиритовый Обр. 1753*	хлорит- серицит- карбонат- пиритовый с Au+Ag обр. 206*	Колонки 2 и 3	Колонки 2 и 4
1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	48,86	46,94	51,27	–1,92	+2,41
TiO <sub>2</sub>	0,22	0,14	0,23	–0,08	+0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,91	12,49	13,85	–2,42	–1,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,13	0,33	1,54		
FeO		9,20	2,63		
MgO	7,65	3,56	4,18	–4,09	–3,47
CaO	12,19	6,43	6,40	–5,76	–5,79
MnO	0,72	0,32	следы	–0,40	–0,72
H <sub>2</sub> O <sup>–</sup>	0,04	0,19	0,10		
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,51	0,30	0,22		
CO <sub>2</sub>	нет	13,41	8,02	+13,41	+8,02
Te	Нет	нет	следы	нет	+следы
FeS <sub>2</sub>	нет	2,28	7,41	+2,28	+7,41
Na <sub>2</sub> O	2,58	1,84	1,78	–0,74	–0,80
K <sub>2</sub> O	0,19	2,57	2,37	+2,38	+2,18
Сумма, %	100	100	100		
Na/K	13,6	0,71	0,75		
$\Pi_{Na}^{Fl}$		+3,12	+2,98		

Наложенная на метасоматиты рудная минерализация, по [6], сформировалась в три стадии: 1) вкрапленный пирит с золотом, выделялся на завершающем этапе предрудного метасоматоза; 2) основная вкрапленная золото-пиритовая ассоциация; 3) тетраэдрит-полисульфидно-теллуридная ассоциация. Самородное золото частично отлагалось на завершающем этапе предрудного метасоматоза пород и в последующих рудных парагенезисах. Часть золота руд связана в теллуридах (около 20%), 10% рассеяно в сульфидах и около 70% присутствует в свободной форме. Проба самородного золота 901–972‰.

**Месторождение Токур** расположено в центральной части Селемджинско-Кербинской металлогенической зоны Приамурья Монголо-Охотской складчатой области. Это месторождение является примером рудного объекта, сформированного в толще терригенных пород верхнего палеозоя, регионально метаморфизованных в цеолитовой фации. Оно формировалось в позднем мезозое над нескрытым раннемеловым гипабиссальным гранитоидным плутоном. Размещается месторождение в южном крыле крупной антиклинали на сопряжении с продольно секущим ее флюидопроводящим Главным разломом широтной ориентировки. Месторождение детально охарактеризовано [9], [11]. Состав неизмененных вмещающих пород и метасоматитов показан в таблице 3.

Все три жильные зоны с большим количеством золото-сульфидно-кварцевых жил мощностью от 0,05 до 0,7 м, иногда до 1–2 м в раздувах, размещаются в висячем крыле указанного флюидопроводника, косо причленяясь к нему в западной части рудного поля. Разлом и жильные тела падают в южных румбах под углами 35–50° и 30–35°, соответственно. Жильные зоны размещаются в толще хрупких песчаников и алевролитов токурской свиты К-Na и К специализации. Они залегают несколько круче их слоистости и выклиниваются под экраном толщи аргиллитов с пластами песчаников вышележащей экимчанской свиты.

$$\Pi_{Na}^{Fl} = \frac{Au}{Au + Ag}$$

Таблица 3 – Перераспределение щелочей (в масс.%) между вмещающими золото-кварцевую жилу породами и исходным флюидом в процессе пред- и синрудного метасоматоза.  
Месторождение Токур, жила 184.

Горионты месторождения, расстояния отбора проб от жилы	№ пробы	Опробованная порода	Содержания компонентов в породе			Привнос (+), вынос (-)				Показатели относительного изменения натриевости флюида $PI_{Na}^{Fl}$		Проба самородного золота, $\frac{Au}{Au + Ag}$ %***	
			SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	порода		флюид		в точках опробования (П <sub>1</sub> , П <sub>2</sub> , П <sub>3</sub> )	Средневзвеш.* * для интервалов метасоматоза пород 0–2,5 м от жил	по данным авторов	по данным [3]
						Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O <sub>Fl</sub>	K <sub>2</sub> O <sub>1</sub>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Горизонт 777 м	Средний состав (2)	аргиллит неизм.	62,15	2,37	4,14						–0.459	$\frac{691 - 733}{711}$ (6)	718
25 м	Н-178	песчаник неизм.	66,01	2,92	3,58								
0,1 м	Н-261	аргиллит*	63,98	2,90	4,45	+0,53	+0,31	–0,53	–0,31	–0,22			
0,5 м	Н-262	песчаник*	68,29	3,22	3,43	+0,3	–0,15	–0,3	+0,15	–0,45			
2,0 м	Н-264	аргиллит*	62,75	2,61	3,92	+0,24	–0,22	–0,24	+0,22	–0,48			
Гори-зонт 700 м	Н-178	песчаник неизм.	66,01	2,92	3,58						+0.706	$\frac{734 - 854}{789}$ (7)	$\frac{700 - 803}{757}$
0,1 м	Н-175	песчаник*	66,36	4,11	2,89	+1,19	–0,69	–1,19	+0,69	–1,88			
0,5 м	Н-176	песчаник*	63,97	2,75	4,22	–0,17	+0,64	+0,17	–0,64	+0,81			
2,0 м	Н-177	песчаник*	64,68	2,80	4,29	–0,12	+0,71	+0,12	–0,71	+0,83			
Гори-зонт 90 м	Н-157	аргиллит неизм.	61,24	1,98	4,38						+0.424	$\frac{747 - 845}{811}$ (5)	нет данных
0,1 м	Н-151	аргиллит*	62,78	1,89	4,50	–0,09	+0,12	+0,09	–0,12	+0,21			
0,5 м	Н-152	аргиллит*	62,17	1,80	4,92	–0,18	+0,54	+0,18	–0,54	+0,72			
2,0 м	Н-153	аргиллит*	61,89	1,51	4,17	–0,47	–0,21	+0,47	+0,21	+0,26			

Примечания: \* изменённые породы; \*\* рассчитаны по формуле  $PI_{Na}^{Fl} = \frac{0,1м \cdot P_1 + 0,9м \cdot P_2 + 1,5м \cdot P_3}{2,5м}$ , где  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  – расчетные показатели для точек опробования;

\*\*\* в числителе пределы вариации, в знаменателе – среднее; в круглых скобках указано число анализов

Простирание жильных зон более 2 км, на глубину прослежены на 500 м. Основные богатые золотом жильные тела приурочены к средним и верхним горизонтам. Жилы разведывались и отрабатывались подземным способом. Оработка рудных столбов в них производилась с 1939 по 1995 годы в интервале глубин от поверхности до 350 м. Объект недоразведан. На руднике добыто 33,7 т золота. Вмещающие рудные жилы песчаники подверглись серицит-кварцевому метасоматозу и сульфидизации, а на большем удалении от жил также и карбонатизации. Золоторудная минерализация относится к жильному малосульфидному (сульфидов 0,5–3%) золото-пирит-арсенопирит-кварцевому типу. Она формировалась в три стадии. Парагенезисы двух первых из них продуктивные: ранний кварц-пирит-арсенопиритовый с тонкодисперсным золотом в пиритах (среднее по 8 анализам – метод фотометрии с бриллиантовым зеленым – 14,94 г/т,) и арсенопиритах (среднее по 10 анализам – тот же метод – 25,5 г/т), и главный золото-кварц-полиметаллический со свободным золотом различной крупности, содержаниями 1–50 г/т, а в локальных участках до 100–500 г/т. Проба золота низкая (620–740‰) на верхних горизонтах, а на глубину она повышается до 800 и более ‰ (табл. 3). Кварц-карбонатные прожилки завершающей стадии безрудные. Источником металлоносных флюидов являлся магматический очаг, дифференциатами которого являются неэродированный предрудный гипабиссальный гранитоидный pluton раннемелового возраста и послерудные малые интрузии, представленные в рудном поле секущими штоками диоритов и субмеридиональными дайками плагиогранитов и диоритовых порфиритов.

Взаимосвязь эволюции натриевости  $\Pi_{Na}^{Fl}$  флюида в процессах пред- и синрудного метасоматоза вмещающих пород и изменения пробы отлагавшегося золота

При формировании на месторождении Одолго мусковитовых метасоматитов в зонах нарушенных и трещиноватых гнейсов, в процессе

взаимодействия «флюид-порода» (табл. 1) в них частично привносились  $K_2O$  и  $SiO_2$ , из них частично выносились  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ , а в минералах метасоматитов перераспределялись  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO$  и окислы  $Fe$ . Отношение  $Na_2O/K_2O$  в исходных породах составляло 1,2–1,6, а в метасоматитах каждой зоны это соотношение менялось на обратное (0,64–0,14). Показатель относительного обогащения флюидов натрием (или обеднения калием) в зонах метасоматоза значительно варьировал в пределах величин от +2,7 до +7,07. Большой вклад исходных пород в такой тренд эволюции качественной щелочности флюидов на предрудной и рудной стадиях объясняется повышенной исходной натриевостью вмещающих пород и высокой активностью калия в поступавших грубинных флюидах. На примере зоны 2 (рис. 1 и табл. 1) по четырем пробам отчетливо видно устойчивое нарастание натриевости рудообразующего флюида от +0,6 в краевой, до +4,42 в центральной части зоны, где отложилась основная часть золота. Его проба высокая – 900–940‰.

При формировании на месторождении Калгурли по амфиболитам высоконатриевой специализации хлорит-альбит-серицит-карбонатных метасоматитов с пиритом и золотой минерализацией (табл. 2), флюиды в зоны нарушенных и трещиноватых амфиболитов привносили  $S$ ,  $CO_2$ ,  $K_2O$ ,  $Te$ ,  $Au$  и  $Ag$ . В породах перераспределялись в новых минеральных парагенезисах метасоматитов и частично выносились во флюид  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $MnO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ , а в метасоматитах и возникавших полостях отлагались  $SiO_2$  и  $Fe$  в форме прожилков, жил и вкрапленности пирита. Отношение  $Na_2O / K_2O$  в исходных амфиболитах составляло около 13,5, а в метасоматитах, за счет реакций обмена с флюидами, оно резко понижалось до 0,7–0,75. За счет значительного расхода поступающим флюидом калия на образование серицита и частичного выноса из амфиболитов  $Na$ , рудообразующий флюид, относительно исходного, обогащался натрием ( $\Pi_{Na}^{Fl}$  около +3,0) Из такого флюида, по [6], отлагалось самородное золото с пробой 901–972‰.

**На месторождении Токур** неизменные рудовмещающие породы имеют калиевую специализацию (табл. 3). При этом, аргиллиты обогащены калием по отношению к натрию в большей степени (в 1,7–2,2 раза), нежели песчаники (в 1,2 раза). В процессе формирования околожильных кварц-серицит-сульфидных и кварц-карбонат-серицитовых предрудных метасоматитов по неизменным песчаникам, алевролитам и аргиллитам, флюидами в породы привносились  $S$ ,  $SiO_2$ ,  $K$ ,  $Au$ ,  $Ag$  и частично выносился во флюид  $Na$ . При этом, в объеме метасоматитов перераспределялись те же основания, что и на выше охарактеризованных месторождениях (в таблице 3 мы их не показываем). Несмотря на калиевую специализацию исходных рудовмещающих пород, при серицитизации содержащихся в них плагиоклазов, на нижние и средние уровни рудоносных зон флюидом дополнительно привносилось некоторое количество калия, а избыток натрия из пород поступал во флюиды.

На верхнем горизонте картина была иной – в пачку переслаивания пород частично привносился  $Na$ , а выносился  $K$ . Вследствие этого, на нижнем и среднем уровнях этой и других рудоносных зон месторождения Токур, из флюидов с повысившейся натриевостью ( $\Pi_{Na}^{Fl}$  до +0,42 и +0,706) в кварцевых жилах отлагалось золото промежуточной пробы (диапазон 734–854‰), а на верхнем уровне, из флюидов с резко понизившейся натриевостью ( $\Pi_{Na}^{Fl}$  -0,459) отлагались кварц, адуляр и низкопробное золото (691–733‰).

### Резюме

В процессе пред- и синрудного метасоматоза пород, вмещающих рудные тела охарактеризованных месторождений, под действием поступающих магматогенных флюидов, из них в подвижное состояние переходило значительное количество различных компонентов, оказавшихся избыточными при формировании на их месте новых устойчивых парагенезисов минералов. Среди них  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ , окислы  $Fe$ , а также  $Na$  и  $K$  (табл. 1–3). Большая часть этих компонентов перераспределялась между новообразованными минералами в различных зонах метасоматоза. Меньшая их часть, совместно с некоторыми компонентами исходного флюида, формировала новые минералы, в том числе рудные. Последние отлагались среди метасоматитов, а также в возникавших в них микро- и макрополостях в виде вкрапленности, гнезд, прожилков и жильных тел. В процессе метасоматоза пород во флюидах

постоянно менялись концентрации солевых компонентов, соотношения концентраций Na и K, кислотность-щелочность, протекали реакции, приводившие к образованию новых растворимых соединений и отложению в возникавших полостях твердофазных продуктов этих реакций.

В процессах метасоматоза особенно важное значение имела подвижность Na и K. Их привнос флюидами с фиксацией в метасоматитах и вынос из пород часто разнонаправлены. Изменение соотношений их концентраций во флюидах и, соответственно, активности каждого из них в трансформированных растворах, могло отражаться на растворимости [12, С. 478], [13, С. 24-31], устойчивости хлоридных и иных комплексов золота и серебра в растворах, на соотношении концентраций этих металлов в них [4, С. 234-235] и, следовательно, на пробности отлагавшегося золота в различных парагенезисах [5, С. 381-386]. Как показано на примере трех выше охарактеризованных разновозрастных золоторудных месторождений, более высокопробное золото отлагалось из трансформированных остывающих более натриевых растворов (руды месторождений Одолго и Калгурли); промежуточное и низкопробное – из растворов менее богатых натрием или с доминированием калия (руды месторождения Токур нижнего и среднего уровней и, особенно, верхнего уровня, соответственно). На примере жильного тела № 184 этого месторождения (табл. 3) отчетливо видно последовательное снижение пробы самородного золота, отложенного в одну стадию, от нижнего к верхнему его уровню, в соответствии со снижением натриевости рудоформирующего флюида в этом направлении.

Из изложенного выше материала по трем золоторудным месторождениям можно сделать однозначный вывод, что факт влияния состава рудовмещающих пород на состав отлагавшегося самородного золота и на сульфидность руд, очевиден. Проба отлагавшегося в рудах этих месторождений самородного золота коррелируется, в общих чертах, с исходной натриевостью неизмененных вмещающих пород, подвижностью выносимого из них натрия в процессах их пред- и синрудного метасоматоза и сложившимися активностями натрия и калия в трансформированных рудообразующих растворах.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Петровская Н.В. Самородное золото / Петровская Н.В. – 1973. – М.: Наука. – 347 с.
2. Пальянова Г.А. Физико-химические особенности поведения золота и серебра в процессах гидротермального рудообразования / Г.А. Пальянова; отв. ред. А.С. Борисенко. – 2008. – Новосибирск: СО РАН. – 221 с.
3. Моисеенко В.Г. Геохимия и минералогия золота рудных районов Дальнего Востока / В.Г. Моисеенко; отв. ред. Г.П. Воларович. – М.: Наука. – 1977. – 304 с.
4. Щербина В.В. Различия геохимических процессов, протекающих с участием калия и натрия / Щербина В.В. // Геохимия. – 1963. – № 3. – С. 229–236.
5. Остапенко Н.С. Зависимость пробы кристаллизующегося золота от изменения соотношения щелочей во флюидах при их взаимодействии с рудовмещающими породами (на примере месторождений Приамурья) / Остапенко Н.С. // ДАН. – 2006. – Т. 410 – № 3. – С. 381–386.
6. Shackleton J.M. Telluride mineralogy of the Golden Mile deposit, Kalgoorlie, Western Australia / Shackleton J.M., Bateman R. // The Canadian Mineralogist. – 2003. – Vol. 41. – P. 1503–1524.
7. Сафонов Ю.Г. Пространственные и генетические соотношения жильково-вкрапленного и жильного гидротермального оруденения / Сафонов Ю.Г., Злобина Т.М., Сароян М.Р. // Руды и металлы. – 2006. – №. 3. – С. 20–33.
8. Сясько А.А. Сравнительный анализ докембрийских золотоносных образований кристаллических щитов / Сясько А.А., Гриб Н.Н., Рэдлх Э.Ф. // Горные науки и технологии. – 2017. – № 2. – С. 11–27.
9. Lindgren W. Metasomatic processes in the gold deposits of Western Australia / Lindgren W. // Economic Geology. – 1906. – Vol. 1. – № 6. – P. 530–544.
10. Эйриш Л.В. Золоторудное месторождение Токур (Дальний Восток, Россия) / Эйриш Л.В., Остапенко Н.С., Моисеенко В.Г. // Геология рудных месторождений. – 2002. – Т. 44. – № 1. – С. 42–58.
11. Остапенко Н.С. Условия отложения и особенности распределения индивидов самородного золота в жилах мезотермального месторождения Токур (Россия) / Остапенко Н.С., Нерода О.Н. // Геология рудных месторождений. – 2016. – Т. 58. – №3. – С. 239–250.
12. Глюк Д.С. Растворимость золота в воде, растворах HCl, HF хлоридов, фторидах, карбонатов и бикарбонатов натрия и калия при давлении 1000 кг/см<sup>2</sup> / Глюк Д.С., Хлебникова А.А. // ДАН. – 1980. – Т. 254. – № 2. – С. 475–479.
13. Некрасов И.Я. Высокотемпературная растворимость золота в растворах HCl и KCl и генезис золоторудных месторождений / Некрасов И.Я., Диман Е.Н. // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 1989. – № 2. – С. 24–31.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Petrovskaya N.V. Samorodnoye zoloto [Free Gold] / Petrovskaya N.V. – 1973. – M.: Nauka. – 347 p. [in Russian]
2. Palyanova G.A. Fiziko-khimicheskie osobennosti povedeniya zolota i serebra v protsessakh gidrotermalnogo rudoobrazovaniya [Physico-Chemical Features of Gold and Silver in the Processes of Hydrothermal Ore Formation] / G.A. Palyanova; resp. ed. A.S. Borisenko. – 2008. – Novosibirsk: SB RAS. – 221 p. [in Russian]
3. Moiseenko V.G. Geokhimiya i mineralogiya zolota rudnykh rayonov Dalnego Vostoka [Geochemistry and Mineralogy of Gold Ore Regions of the Far East] / V.G. Moiseenko; resp. ed. G.P. Volarovich. – M.: Nauka. – 1977. – 304 p. [in Russian]
4. Shcherbina V.V. Razlichiya geokhimicheskikh protsessov, protekayushchikh s uchastiem kaliya i natriya [Differences in Geochemical Processes Involving Potassium and Sodium] / Shcherbina V.V. // Geochemistry. – 1963. – No. 3. – P. 229–236. [in Russian]
5. Ostapenko N.S. Zavisimost proby kristallizuyushchegosya zolota ot izmeneniya sootnosheniya shchelochey vo flyuidakh pri ikh vzaimodeistvii s rudovmeshchayushchimi porodami (na primere mestorozhdenii Priamurya) [Dependence of Standard

of Fineness of Crystallizing Gold on a Change in Ratio of Alkalies in Fluids during their Interaction with Ore-Bearing Rocks (on the example of Priamurye deposits)] / Ostapenko N.S. // DAN. – 2006. – V. 410 – No. 3. – P. 381–386. [in Russian]

6. Shackleton J.M. Telluride mineralogy of the Golden Mile deposit, Kalgoorlie, Western Australia / Shackleton J.M., Bateman R. // The Canadian Mineralogist. – 2003. – Vol. 41. – P. 1503–1524.

7. Safonov Yu.G. Prostranstvennye i geneticheskie sootnosheniya prozhilkovno-vkraplennogo i zhilnogo gidrotermalnogo orudneniya [Spatial and Genetic Relationships of Vein Disseminated and Vein Hydrothermal Mineralization] / Safonov Yu.G., Zlobina T.M., Saroyan M.R. // Rudy i metally [Ores and Metals]. – 2006. – No. 3. – P. 20–33. [in Russian]

8. Syasko A.A. Sravnitelny analiz dokembriyskikh zolotonosnykh obrazovaniy kristallicheskikh shchitov [Comparative Analysis of Precambrian Gold Formations of Crystalline Shields] / Syasko A.A., Grib N.N., Redlikh Ye.F. // Gornye nauki i tekhnologii [Mining Science and Technology]. – 2017. – No. 2. – P. 11–27. [in Russian]

9. Lindgren W. Metasomatic processes in the gold deposits of Western Australia / Lindgren W. // Economic Geology. – 1906. – Vol. 1. – No. 6. – P. 530–544.

10. Erish L.V. Zolotorudnoye mestorozhdeniye Tokur (Dalnii Vostok, Rossiya) [Gold Mine in Tokur (Far East, Russia)] / Erish L.V., Ostapenko N.S., Moiseenko V.G. // Gologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]. – 2002. – V. 44. – No. 1. – P. 42–58. [in Russian]

11. Ostapenko N.S. Usloviya otlozheniya i osobennosti raspredeleniya individov samorodnogo zolota v zhilakh mezotermalnogo mestorozhdeniya Tokur (Rossiya) [Deposition Conditions and Distribution Features of Free Gold in the Tokur Mesothermal Deposit (Russia)] / Ostapenko N.S., Neroda O.N. // Gologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits] – 2016. – V. 58. – No. 3. – P. 239–250. [in Russian]

12. Gluck D.S. Rastvorimost zolota v vode, rastvorakh HCl, HF khloridov, ftoridakh, karbonatov i bikarbonatov natriya i kaliya pri davlenii 1000 kg/sm<sup>2</sup> [Gold Solubility in Water, Solutions of HCl, HF Chlorides, Fluorides, Sodium and Potassium Carbonates and Bicarbonates at a Pressure of 1000 kg/cm<sup>2</sup>] / Gluck D.S., Khlebnikova A.A. // DAN. – 1980. – V. 254. – No. 2. – P. 475–479. [in Russian]

13. Nekrasov I.Ya. Vysokotemperaturnaya rastvorimost zolota v rastvorakh HCl i KCl i genezis zolotorudnykh mestorozhdeniy [High Temperature Solubility of Gold in HCl and KCl Solutions and Genesis of Gold Deposits] / Nekrasov I.Ya., Diman E.N. // Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka [University News. Geology and Exploration]. – 1989. – No. 2. – P. 24–31. [in Russian]

**АНТИОКСИДАНТНЫЙ ЭФФЕКТ ЭКСТРАКТА ШАФРАНА ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ НЕВРОЗЕ**

Научная статья

**Бахшалиева А.Я. \***

Институт Физиологии им. академика Абдуллы Караева, НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

\* Корреспондирующий автор (afetfarm[at]mail.ru)

**Аннотация**

Настоящее исследование посвящено изучению защитно-профилактического действия экстракта шафрана при развитии экспериментального невроза путем выяснения связи между коррекционными и антиоксидантными свойствами шафрана. Выявлено, что интенсивность свободнорадикального окисления липидов скорректировано введением экстракта шафрана в процессе невротизации у предварительно отобранных неврозоподобных крыс, а также ускорено восстановление функционального состояния животных после прекращения стресс-воздействия.

**Ключевые слова:** стресс, невроз, экстракт шафрана, перекисное окисление липидов.

**ANTIOXIDANT EFFECT OF SAFFRON ESSENCE IN CASE OF EXPERIMENTAL NEUROSIS**

Research article

**Bakhshalieva A.Ya. \***

Institute of Physiology named after Academician Abdulla Garayev, NAS of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

\* Corresponding author (afetfarm[at]mail.ru)

**Abstract**

The following paper is devoted to the study of the protective and prophylactic effect of saffron essence in the development of experimental neurosis by means of clarifying the nature of relationship between the corrective and antioxidant properties of saffron. It was revealed that the intensity of free radical lipid oxidation was adjusted after the introduction of saffron essence during the process of neurotization in pre-selected neurosis-like rats, while the restoration of the functional state of animals after the termination of stress exposure was accelerated.

**Keywords:** stress, neurosis, saffron essence, lipid peroxidation.

**Введение**

В настоящее время значительно возрастающее разнообразие и множество побочных эффектов психотропных препаратов химического происхождения вносит ряд наиболее важных вопросов в современную психофармакологию [3]. С этих позиций, большой интерес вызывают препараты растительного происхождения. Так как, растительные экстракты являются наиболее привлекательных источников новых лекарств и дают лучший результат при низких побочных эффектах [5]. В этом отношении ввиду своего богатого химического состава и лечебного многообразия наиболее целесообразно изучение Шафрана (*Crocus sativus*), выращиваемого в Абшеронском районе Азербайджана. Интерес исследования шафрана в неврологии связан с его выраженной нейротропной активностью [4], подтвержденное в народной медицине, и требующее научного доказательства эффективности экспериментальным путем.

Многолетнее изучение нейрофизиологии невротических расстройств (неврозов) имеет противоречивую историю и не теряет своей актуальности на протяжении более полутора веков. Под наименованием неврозов подразумеваются функциональные нервные расстройства, вызванные патологической адаптацией к сложившейся церебральной циркуляторной гипоксии, следствием которой является активация перекисного окисления липидов [1]. С этой точки зрения выявление антиоксидантного свойства шафрана имеет большое значение в традиционной медицине и психофармакологии.

С другой стороны, многие исследователи указывают, что при неврозе отражающей определенную психическую дезорганизацию в форме болезненных переживаний является базальная тревога, которая включает в себя конституциональные состояния и развитие личности [6]. При этом получение статистически значимых результатов при моделировании человеческой патологии на животных сложно и относительно. С помощью предварительных тестирований можно прогнозировать компенсаторные возможности животных, которые напрямую связаны с тяжестью невротических нарушений.

С нашей точки зрения, представляется целесообразным изучение изменения анти-прооксидантного статуса организма, как возможный фактор развития невротических расстройств, и антиоксидантного действия шафрана, у предварительно отобранных крыс, склонных к кататоническому замиранию.

**Методы и принципы исследования**

Опыты проводили на 30 нелинейных половозрелых белых крысах-самцах весом 180–220г. Для уточнения резерва компенсаторных возможностей мы предприняли оценку склонности крыс переходить в состояние кататонического замирания (фризинг). Неврозное состояние у предварительно отобранных крыс создали в течение трех недель ежедневным воздействием хронического эмоционально-болевого стресса (ЭБС), который является вариантом модели «стресс ожидания» [1]. Типы воздействия приводит к психо-вегетативным расстройствам крыс, характерным для неврозов [2]. Для этого животных помещали в специальные камеры с электрическим полом, служащим неизбежным подкреплением условного сигнала – вспышек света. Вспышки применяли с частотой 0,5 Гц и повторяли 12 раз.

(Вспышки следовали с частотой 0,5 Гц пачками по 12). Последние 6 вспышек поддерживались электро-кожным раздражением пороговой мощности 4 мА. (Последние 6 вспышек в пачке подкрепились в стахостатическом порядке электрокожным раздражением надпороговой силы (4мА). Время изолированного действия тока продолжалось 5 сек. В результате 3-недельного ЭБС у животных формировалось стойкое отрицательно-эмоциональное состояние, классифицируемое как неврозы.

Экспериментальных животных разделили на следующие группы: *интактные*; *контрольные* – крысы, подвергавшиеся ЭБС; *опытные* – крысы, подвергавшиеся ЭБС на фоне введения экстракта шафрана. В течение 21 дня, ежедневно, перед каждым сеансом ЭБС проводили внутривенное (2 мл) введение: контрольным крысам - 0,9% физиологического раствора (эффект плацебо), опытным крысам - экстракта шафрана в дозе 250 мг/кг веса. При невротизации под действием хронического ЭБС на 7, 14 и 21 дни эксперимента (Н7, Н14, Н21, соответственно) оценивали интенсивность свободнорадикального окисления липидов на тканевом уровне в гомогенате гипоталамуса и сенсомоторной коры по изменению содержания вторичного продукта – малонового диальдегида [8]. Затем, после прекращения (спустя 1 неделю) невротического воздействия (Н28) изучали восстановление функционального состояния животных.

### Результаты и их обсуждение

При невротизации под влиянием ЭБС по сравнению с интактной группой, которое брали за 100 % значения, у контрольных и опытных крыс выявлено увеличение содержания МДА в обеих структурах мозга. Однако, динамика усиления интенсивности свободнорадикального окисления в зависимости от локализации и времени стресс-воздействия оказалось различной (рис.1.).

Увеличение содержания МДА у контрольных крыс можно рассматривать как катастрофическое. Так, в Н3 отклонение от интактных величин в гипоталамусе было значительным - на 75,4% ( $p<0,01$ ), а в сенсомоторной коре умеренным - на 43,7% ( $p<0,05$ ). Но в Н14 содержание МДА в обеих структурах прогрессивно нарастало и к 21 дню опыта достигало в гипоталамусе 306,5% ( $p<0,001$ ), а сенсомоторной коре 189,6% ( $p<0,01$ ) по сравнению с интактными значениями.

У невротизированных крыс, получавших экстракт шафрана (опытная группа), в Н7 изменение МДА в обеих структурах было незначительным: в гипоталамусе - на 37,7% ( $p<0,05$ ), а в сенсомоторной коре - на 16,7% ( $p<0,05$ ). На фоне введения экстракта шафрана в Н14 увеличение МДА в гипоталамусе было значительным (на 103,3%;  $p<0,01$ ), а в коре - умеренным (43,7%;  $p<0,01$ ), но к концу опыта (Н21) содержание МДА составляло: в гипоталамусе 191,8% ( $p<0,01$ ), а в сенсомоторной коре 133,3% ( $p<0,01$ ) по сравнению с интактными животными.

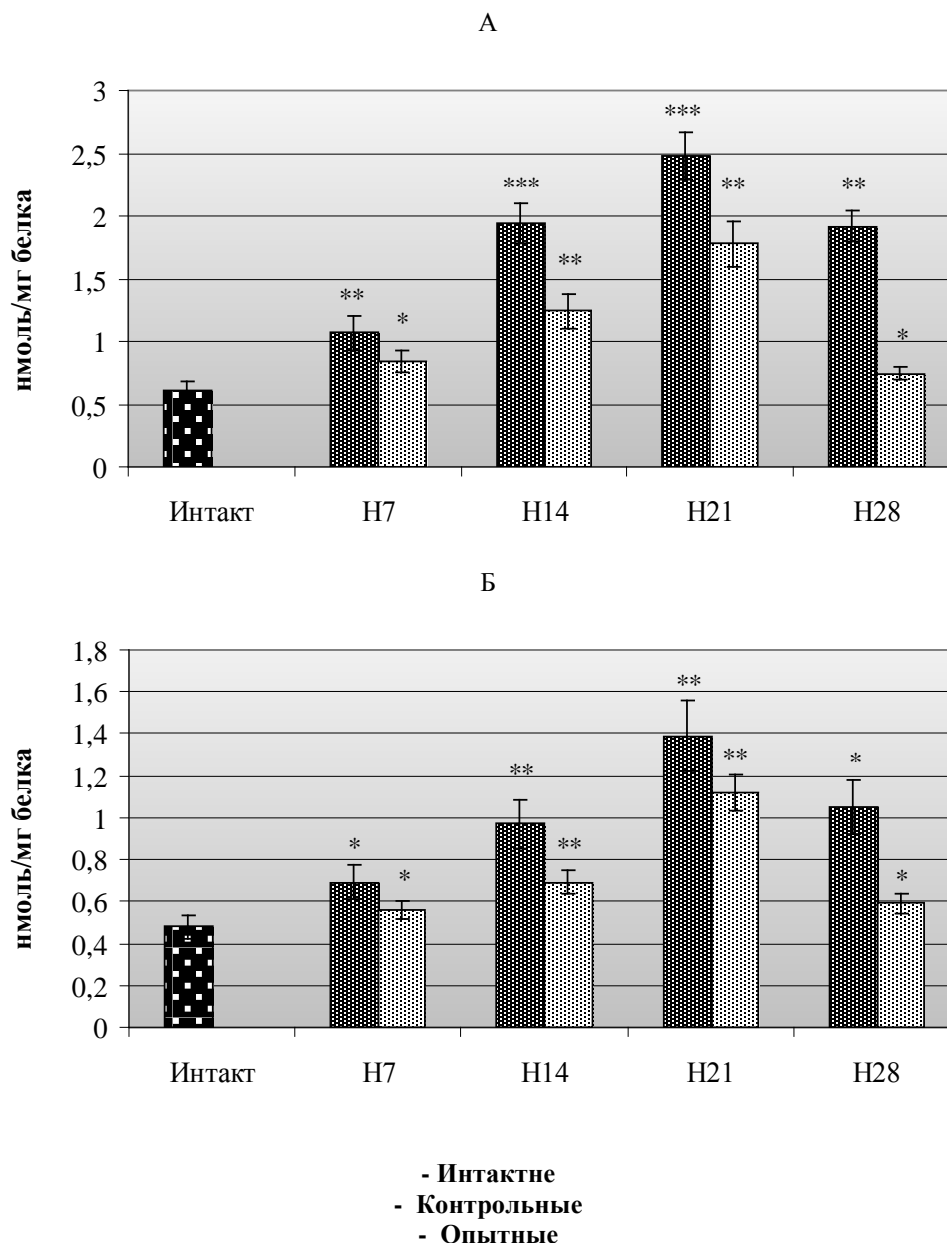


Рис. 1 – Динамика изменения МДА в гипоталамусе (А) и сенсомоторной коре (Б) при невротизации; \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  по сравнению с интактной группой; ( $n=6$ ).

После прекращения невротизации в период восстановления функционального состояния (H28) у обеих групп животных уменьшалось количество МДА. По сравнению с интактной группой, у контрольных крыс количество МДА в гипоталамусе уменьшалось на 214,5% ( $p < 0,01$ ), а в сенсомоторной коре - на 118,7% ( $p < 0,05$ ). Экстракт шафрана, оказывая значительное коррекционное влияние на опытных животных, способствует снижению содержания МДА, что составляет: в гипоталамусе - 21,3 % ( $p < 0,05$ ), а в сенсомоторной коре - 23% ( $p < 0,05$ ) по сравнению с интактной группой.

Резюмируя полученные данные при определении антиоксидантной активности шафрана, можно сказать, что в процессе невротизации у предварительно отобранных крыс, склонных к кататоническому замиранию, экстракт шафрана выступает как активный антиоксидант, препятствующий развитию патологии с ускорением восстановления функционального состояния после прекращения невротизации.

В предыдущих исследованиях с помощью поведенческих тестов нами было изучено профилактическое действие экстракта шафрана при реализации невроза. Установлено, что экстракт шафрана значительно уменьшает невротизацию у крыс с типологическим статусом [2].

В исследованиях Ghadrdoost В. получены аналогические результаты об антиоксидантной активности шафрана. Обнаружено, что экстракт шафрана предотвращает ухудшение памяти и пространственного обучения из-за хронического стресса [10].

Согласно литературным данным, профилактическое свойство шафрана против дефицита памяти возникает в результате корреляции между антиоксидантной активностью шафрана и окислительного стресса. [7], [9]

Известно, что основой патогенеза эмоционального стресса является окислительный фактор - накопление в тканях свободных радикалов, ведущих к свободному перекисному окислению липидов мембран различных клеток, особенно нейронов головного мозга [12], [14]. Интенсификация ПОЛ в конечном итоге приводит к подавлению SH-содержащих



энзимов и образованию в белковых молекулах дисульфидных мостиков. При этом, в мембранных переносчиках ионов происходит нарушение структурно-функциональных свойств мембран и подавление активности, что влечет за собой изменение чувствительности нейронов к нейромедиаторам и олигопептидам, ведущее к формированию “застойного” эмоционального возбуждения в коре головного мозга [11], [15].

Шафран обладает богатым химическим составом, в который входит эфирное масло (0,6 – 0,9%) в виде гликозида пикрокроцина, жирное масло (до 13%), ликопин, флавоноиды, воск, тиамин, витамины группы В, азотистые вещества, кальций, калий, фосфор. Активными компонентами являются кроцин, кроцетин, пикрокроцин и шафранал. Шафран имеет высокое количество антиоксидантных каротиноидов, в том числе кроцин, который придает ему оранжевый цвет и является основным антиоксидантом [11].

Srivastava et al. [16] и Hosseinzadeh et al. [13] предполагают, что эффекты кроцина и шафранала связаны с влиянием на синаптическую передачу моноаминов и с модуляцией уровня определенных нейротрансмиттеров в ЦНС. Считается, что шафран изменяет уровень нейротрансмиттеров, таких как дофамин, норадреналин и серотонин в головном мозге.

### Заключение

Таким образом, активные компоненты шафрана, «впитывая» в себя переизбыток радикалов, приостанавливают цепную реакцию достижения сбалансирования реакции ПОЛ в изучаемых структурах мозга при невротизации. Предполагаем, что экстракт шафрана, оказывая стабилизирующее и нейтрализующее действие свободных радикалов, повышает сопротивляемость организма внешним факторам.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Conflict of Interest

None declared.

### Список литературы / References

1. Айрапетянц М.Г. Участие церебральной гипоксии в патогенезе неврозов / М.Г. Айрапетянц // Журнал высшая нервная деятельность - 1997. - Т.47. - № 2. - С. 412-419.
2. Бахшалиева А.Я. Коррекция поведенческих показателей неврозоподобного состояния введением экстракта шафрана / А. Я. Бахшалиева // Сборник научных трудов Института физиологии им. А.И.Караева НАНА. Баку. – 2008. – Т.26. С. 228-232.
3. Балашов А.М. К вопросу о резистентности к фармакотерапии / А. М. Балашов // Журнал неврологии и психиатрии им С. С. Корсакова. – 2009. – Т. 1. – № 109. – С. 90–91.
4. Мазнев В.И. Высокоэффективные лекарственные растения / В. И. Мазнев // М.: Эксмо. - 2012. - 608 С.
5. Пастушенков Л.В. Лекарственные растения. Использование в народной медицине и быту / Л. В. Пастушенков // Спб.: БХВ. – Петербург. - 2012. - 432 С.
6. Симонов П.В. Лимбические структуры мозга и патогенез неврозов / П.В. Симонов // Журнал Неврологии и психиатрии. им С. С. Корсакова. - 1984. - Т.84. - №11. -С.1665- 1667.
7. Akowuah G.A. Therapeutic properties of saffron and its chemical constituents / G.A. Akowuah, T.T. Htar // J. Nat. Prod. – 2014. – V.7. – P. 5 –13.
8. Asakava T. Coloring condition of thiobarbituric acid test for delecting lipid hdroperoxides. / T. Asakava, S. Matsushita // Lipids. – 1980 – V.15. - №3. – P. 137-140.
9. Chung C.P. Increased oxidative stress in patients with depression and its relationship to treatment / C.P. Chung. // Psychiatry Res. – 2013. – V. 206. - P. 213–216.
10. Ghadrdoost B. Protective effects of saffron extract and its active constituent crocin against oxidative stress and spatial learning and memory deficits induced by chronic stress in rats / B. Ghadrdoost // Eur. J. Pharmacol. – 2011. – V. 667. – P. 222–229.
11. Gómez-Gómez L. Understanding carotenoid metabolism in saffron stigmas: unravelling aroma and colour formation. / L. Gómez-Gómez, A. Rubio-Moraga, O. Ahrazem // Func Plant Sci Biotech. – 2010. - №4. – P. 56–63.
12. Hausenblas H.A. Saffron (*Crocus sativus* L.) and major depressive disorder: a meta-analysis of randomized clinical trials. / H.A. Hausenblas, D. Saha, P.J. DUBYAK and others // J. Integr. Med. – 2013. – V. 11. – P. 377–383.
13. Hosseinzadeh H. Antidepressant effect of *Crocus sativus* L. stigma extracts and their constituents, crocin and safranal, in mice / H. Hosseinzadeh, G. Karimi, M. Niapoor // Acta Hort. – 2004. – V. 650. – P. 435–445.
14. Lopresti A.L. Affron, a standardized extract from saffron (*Crocus sativus* L.) for treatment of youth anxiety and depressive symptoms: a randomized, double-blind, placebo-controlled study / Lopresti A.L. // Journal of Affective Disorders. Published online February 26, 2018.
15. Mazidi M. A double-blind, randomized and placebo-controlled trial of saffron (*Crocus sativus* L.) in the treatment of anxiety and depression. / M.Mazidi M. // J. Complement Integr. Med. – 2016. – V.13. – P. 195-199.
16. Srivastava R. *Crocus sativus* L.: a comprehensive review / R. Srivastava, H. Ahmed, R.K. Dixit and others // Pharmacogn Rev. – 2010. – V. 4. – P. 200–208.

### Список литературы на английском языке / References in English\*

1. Ajrapetjanc M.G. Uchastie cerebral'noj gipoksii v patogeneze nevrozov [The participation of cerebral hypoxia in the pathogenesis of neurosis] / M.G. Ajrapetjanc // Zhurn. vyssh. nerv. dejat. [Journal of Higher Nervous Activity]- 1997. – Vol. 47. - № 2. - P. 412-419. [in Russian]
2. Bahshalieva A.Ja. Korrekciya povedencheskih pokazatelej nevrozopodobnogo sostojanija vvedeniem jekstrakta shafrana [Correction of the behavioral indices of the neurosis-like state by administering the extract of saffron] / A. Ja. Bahshalieva // Sbornik nauchnyh trudov Instituta fiziologii im. A.I.Karaeva NANA. Baku. – 2008. – Vol.26. P. 228-232. [in Russian]

3. Balashov A. M. K voprosu o rezistentnosti k farmakoterapii [On the issue of resistance to pharmacotherapy] / A. M. Balashov // Zhurnal nevrologii i psikiatrii im S. S. Korsakova. [Journal of Neurology and Psychiatry named after S. S. Korsakov.] – 2009. – Vol. 1. – № 109. – P. 90–91. [in Russian]
4. Maznev V.I. Vysokoeffektivnye lekarstvennye rastenija. [Therapeutic properties of saffron and its chemical constituents] / V. I. Maznev // M.:Jeksmo. - 2012. - 608 P. [in Russian]
5. Pastushenkov L.V. Lekarstvennye rastenija. Ispol'zovanie v narodnoj medicine i bytu [Medicinal plants. Use in traditional medicine and everyday life] / L. V. Pastushenkov // Spb.: BHV. – Peterburg. - 2012. - 432 P. [in Russian]
6. Simonov P.V. Limbicheskie struktury mozga i patogenez nevrozov [The limbic structures of the brain and the pathogenesis of neuroses] / P.V. Simonov // Zhurnal nevrologii i psikiatrii im S. S. Korsakova. [Journal of Neurology and Psychiatry named after S. S. Korsakov] - 1984. - Vol.84. - №11. -P.1665- 1667. [in Russian]
7. Akowuah G.A. Therapeutic properties of saffron and its chemical constituents / G.A. Akowuah, T.T. Htar // J. Nat. Prod. – 2014. – Vol.7. – P. 5 –13.
8. Asakava T. Coloring condition of thiobarbituric acid test for delecting lipid hudroperoksides. / T. Asakava, S. Matsushita // Lipids. – 1980 – V.15. - №3. – P. 137-140.
9. Chung C.P. Increased oxidative stress in patients with depression and its relationship to treatment / C.P. Chung // Psychiatry Res. – 2013. – V. 206. - P. 213–216.
10. Ghadrdoost B. Protective effects of saffron extract and its active constituent crocin against oxidative stress and spatial learning and memory deficits induced by chronic stress in rats / B. Ghadrdoost // Eur. J. Pharmacol. – 2011. – V. 667. – P. 222–229.
11. Gómez-Gómez L. Understanding carotenoid metabolism in saffron stigmas: unravelling aroma and colour formation. / L. Gómez-Gómez, A. Rubio-Moraga, O. Ahrazem // Func Plant Sci Biotech. – 2010. - №4. – P. 56–63.
12. Hausenblas H.A. Saffron (*Crocus sativus* L.) and major depressive disorder: a meta-analysis of randomized clinical trials. / H.A. Hausenblas, D. Saha, P.J. Dubyak and others // J. Integr. Med. – 2013. – V. 11. – P. 377–383.
13. Hosseinzadeh H. Antidepressant effect of *Crocus sativus* L. stigma extracts and their constituents, crocin and safranal, in mice / H. Hosseinzadeh, G. Karimi, M. Niapoor // Acta Hort. – 2004. – V. 650. – P. 435–445.
14. Lopresti A.L. Affron, a standardized extract from saffron (*Crocus sativus* L.) for treatment of youth anxiety and depressive symptoms: a randomized, double-blind, placebo-controlled study,” *Journal of Affective Disorders*. Published online February 26, 2018.
15. Mazidi M. A double-blind, randomized and placebo-controlled trial of saffron (*Crocus sativus* L.) in the treatment of anxiety and depression. / M.Mazidi M. // *J. Complement Integr. Med.* – 2016. – V.13. – P. 195-199.
16. Srivastava R. *Crocus sativus* L.: a comprehensive review / R. Srivastava, H. Ahmed, R.K. Dixit and others // Pharmacogn Rev. – 2010. – V. 4. – P. 200–208.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.015>

## СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АТЛЕТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС

Научная статья

**Бурмистров Д.А.<sup>1,\*</sup>, Тихонов С.А.<sup>2</sup>, Бурмистрова Н.О.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский институт биорегуляции и геронтологии, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский Государственный Технический Университет, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup> Восточно-Европейский институт психоанализа, Санкт-Петербург, Россия

\* Корреспондирующий автор (bur350[at]yandex.ru)

### Аннотация

В статье рассмотрена возможность применения спортивно-оздоровительной технологии атлетической направленности лицами разного пола и возраста с целью купирования синдромов патологических состояний опорно-двигательного аппарата. Описаны этапы реализации данной технологии. Приведены параметры, исследование динамики изменения которых позволяет судить о результативности тренировочного процесса. Предложен программный комплекс, призванный оптимизировать реализацию названной технологии. Определены специалисты, осуществляющие планирование и контроль учебно-тренировочных занятий.

**Ключевые слова:** реабилитация, атлетические упражнения, качество жизни.

## SPORTS AND FITNESS TECHNOLOGY OF ATHLETIC ORIENTATION. PROGRAM PACKAGE

Research article

**Burmistrov D.A.<sup>1,\*</sup>, Tikhonov S.A.<sup>2</sup>, Burmistrova N.O.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> St. Petersburg Institute of Bioregulation and Gerontology, Saint-Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> St. Petersburg State Technical University, St. Petersburg, Russia;

<sup>3</sup> East European Institute of Psychoanalysis, Saint-Petersburg, Russia

\* Corresponding author (bur350[at]yandex.ru)

### Abstract

The article considers the possibility of using sports and fitness technology of athletic orientation by people of different sex and age with the aim of arresting the syndromes of pathological conditions of the supporting-motor apparatus. The stages of the implementation of this technology are described in the paper. Parameters are given, the study of the dynamics of which allows judging the effectiveness of the training process. A program package is proposed aimed at optimizing the implementation of this technology. Specialists who plan and control the training sessions are identified.

**Keywords:** rehabilitation, athletic exercises, quality of life.

Морфологические и функциональные изменения в опорно-двигательном аппарате у людей среднего и пожилого возраста существенно влияют на их двигательную активность, значительно снижая качество жизни. Наиболее распространенной патологией являются дегенеративно-дистрофические изменения позвоночника. У гериатрических больных они наблюдаются в 95-100% случаев. Присутствующие при этом боли в спине препятствуют возможности обслуживать себя и лишают психологической уверенности в своих силах. С возрастным остеохондрозом сочетаются множественные изменения в суставах, где преобладают атрофические процессы, что еще более усугубляет данную медико-социальную проблему [6], [10].

Проведение реабилитационных мероприятий при инволюционных изменениях структур опорно-двигательного аппарата приобретает еще большую актуальность в связи с увеличением в Российской Федерации пенсионного возраста, что определяет необходимость сохранения определенной физической формы у представителей разных профессий. Таким образом, проявляется выраженная необходимость разработки мер профилактики при инволюционных изменениях опорно-двигательного аппарата у представителей старших возрастных групп.

Известно, что основной целью профилактики в отношении возникновения и развития дегенеративных заболеваний является предупреждение синдромов данных заболеваний, а наиболее действенным профилактическим методом является оздоровительная физическая культура, цель которой состоит, в том числе, в обеспечении хорошей проработки, высокой подвижности и прочности суставов и позвоночника с учетом их индивидуального состояния [7].

В результате теоретических изысканий и экспериментального исследования разработана и внедрена в тренировочный процесс Спортивно-оздоровительная технология атлетической направленности (СТАН), в которой применены авторские разработки, позволяющие с профилактической и оздоровительной целью физиологично воздействовать на организм людей разного пола и возраста с патологическими состояниями опорно-двигательного аппарата [4].

Выраженный оздоровительный эффект от применения СТАН достигается благодаря включению в тренировочный процесс наряду с традиционными атлетическими упражнениями, специальных упражнений, предназначенных для развития глубокой мускулатуры, неактивность которой приводит к нарушению трофики структур позвоночника и крупных суставов, что является причиной дегенеративно-дистрофических изменений и связанных с ними заболеваний опорно-двигательного аппарата [4]. Определено место названных специальных атлетических упражнений в тренировочном комплексе и выявлена оптимальная дозировка их применения.

Запатентованные авторские разработки дают возможность индивидуально для каждого пользователя планировать объем и интенсивность тренировочной нагрузки на основании таких параметров как возраст, состояние здоровья, силовые показатели, уровень тренированности и др., что позволяет исключить нежелательные эффекты, связанные с

неадекватной тренировочной нагрузкой и в то же время обеспечить значительное улучшение качества жизни за счет повышения уровня работоспособности, основанного на росте силовых качеств и связанного с этим пластическим эффектом, снижением количества телесного жира и купированием симптомов указанных выше хронических заболеваний.

Конечным продуктом СТАН являются тренировочные методики:

Методики двигательной реабилитации направлены на восстановление двигательных способностей после травм и в следствие заболеваний, вызванных возрастными изменениями.

Методики физической рекреации направлены на развитие физических качеств, а также на профилактику заболеваний, связанных с процессами старения организма.

Методики спортивной тренировки используют инструменты СТАН как способ профилактики спортивных травм, а также как способ воздействия на определенные мышцы с целью выраженного развития их силовых качеств за счет изменения характера воздействия, в сравнении с традиционными атлетическими упражнениями.

Объект воздействия СТАН: лица разного пола и возраста, не имеющие медицинских противопоказаний к занятиям с отягощениями.

Предмет исследования СТАН: силовая тренировка.

Основная форма СТАН: учебно-тренировочное занятие.

Тренировочный процесс делится на 3 этапа которые, не имея четких границ, предполагают преемственность приведенных методик, переходя из реабилитационного направления в профилактическое и далее в спортивно-оздоровительное. Длительность этапов определяется индивидуально.

Этап 1 характеризуется низко нагрузочным режимом выполнения упражнений, что связано с невысоким уровнем работоспособности занимающихся, недостаточным развитием мускулатуры, отсутствием необходимых двигательных навыков и, возможно, наличием болевых синдромов. На данном этапе применяются методики двигательной реабилитации. Его продолжительность составляет 1 – 2 месяца. Снижение интенсивности боли, овладение техникой выполнения используемых атлетических упражнений и рост тренированности являются основанием для повышения нагрузки и использования более сложно координированных атлетических упражнений, что рассматривается как переход на этап 2.

ЭТАП 2 характеризуется увеличением тренировочной нагрузки до уровня, обеспечивающего рост силовых качеств, и, следовательно, мышечной массы, а также восстановление эластичности мышц и связок. Преимущественно используются методики физической рекреации. В состав комплексов входят атлетические упражнения, не предполагающие выраженную осевую нагрузку на позвоночник. Применяются методические и технические приемы выполнения упражнений, позволяющие снизить величину используемого отягощения не в ущерб тренировочному воздействию, что позволяет снизить нагрузку на связочно-суставной аппарат.

Длительность этапа 2 составляет 3 – 4 месяца. Значительное развитие силовых качеств, восстановление подвижности в суставах, а также купирование болевых синдромов позволяют перейти к тренировкам этапа 3.

ЭТАП 3 включает методики физической рекреации и спортивные методики, которые позволяют далее развивать физические качества в рамках оздоровительной силовой тренировки или в избранном виде спорта. Достигнутый уровень тренированности позволяет использовать широкий нагрузочный диапазон, а также применять различные атлетические упражнения, в том числе с компрессионной нагрузкой на позвоночник.

Построенный таким образом тренировочный процесс с использованием СТАН обеспечит достижение стойкого эффекта, выраженного в полном отсутствии болевого синдрома, восстановлении и улучшении двигательных возможностей, существенном росте силовых качеств и наличии потребности в тренировочных занятиях силовой направленности.

При составлении тренировочной программы учитывается пол, возраст, диагноз и стадия заболевания, локализация болей, индивидуальные особенности, уровень физической подготовленности и др.

Для оценки результативности исследуются следующие параметры:

Ортопедические тесты. Позволяют оценить подвижность позвоночника и грудной клетки. Используется метод Томайера, тест Шобера, измерение экскурсии грудной клетки, измерение бокового сгибания в поясничном отделе.

Гониометрия позвоночника – измерение в угловых градусах амплитуды движений в направлении сгибание-разгибание и боковых движений в шейном, грудном и поясничном отделе.

Биоимпедансометрия. Определяет уровень основного обмена, содержание жировой, мышечной, клеточной и тощей массы тела, воды и др.

Антропометрия. Обхватные размеры частей тела.

Дыхательные пробы. Позволяют косвенно судить об уровне тренированности. Проба Штанге – задержка дыхания на вдохе, проба Генчи – задержка дыхания на выдохе.

Тестирование уровня развития силовых качеств. На контрольном занятии устанавливается максимальный показатель или повторный максимум, что позволяет просматривать в динамике их изменения.

Тестирование интенсивности боли. Для определения интенсивности боли в позвоночнике и суставах используется визуально-аналоговая шкала.

Анкетирование. Используются опросники определения уровня качества жизни. Например, SF-36 health status survey.

Показатели снимаются в начале тренировок и затем через определенные промежутки времени, что позволяет установить динамику их изменений. Такой подход позволяет вносить необходимые коррективы в тренировочную программу в случае недостаточно удовлетворительных результатов.

В зависимости от запроса к тренировочному процессу список исследуемых показателей может быть, как дополнен, так и сокращен.

Для повышения результативности тренировочного процесса был разработан и внедрен Программный комплекс СТАН (ПК СТАН).

При проектировании ПК СТАН были поставлены следующие задачи:

- обеспечить дистанционное получение пользователем тренировочного задания на каждое занятие с мобильного устройства (смартфона и др.);
  - обеспечить обратную связь от пользователя;
  - создать возможность накопления полученных данных для дальнейшего анализа;
  - уменьшить трудозатраты тренера при создании программ тренировок.
- С учетом поставленных задач в первой версии программного комплекса было принято решение выбрать в качестве базового стека технологий:
- для сервера PHP 5.6, MySQL, CMS Joomla!
  - для клиентской части стандартное Web-приложение на базе HTML, CSS, JavaScript;
  - для взаимодействия между клиентом и сервером используется HTML 4.01 и технология AJAX.




В ПК СТАН предусмотрено наличие панели управления тренера и личного кабинета пользователя, доступ к которым осуществляется через Интернет по адресу <http://burmistrov.pro>. Для авторизации каждый пользователь использует персональные логин и пароль.

Личный кабинет пользователя выполнен в лаконичном и удобном стиле, отображается текущая тренировка в стандартном табличном виде (см. рисунок 1). Каждое упражнение снабжено исчерпывающим описанием техники выполнения, фото, видео, указанием используемого оборудования, даны конкретные методические указания. Показано количество подходов, повторений и вес отягощения, что отражает объем тренировочной нагрузки данного занятия. Начинать каждый очередной тренировочный подход рекомендовано при определенной индивидуально рассчитанной величине пульса, также указанной в личном кабинете пользователя, что обеспечивает поддержание заданной интенсивности тренировки. К тренировке и отдельному упражнению возможно оставить комментарий, который будет виден тренеру в панели управления.

СТАН

СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНОЛОГИЯ АТЛЕТИЧЕСКОЙ  
НАПРАВЛЕННОСТИ

[ГЛАВНАЯ](#)
[ОБ АВТОРЕ](#)
[ОТЗЫВЫ](#)
[КОНТАКТЫ](#)

[О ТЕХНОЛОГИИ](#)
[ПУБЛИКАЦИИ](#)
[ЭНЦИКЛОПЕДИЯ](#)
[СПЕЦИАЛИСТЫ](#)
[ЛИЧНЫЙ КАБИНЕТ](#)
[СТАН](#)

**ТРЕНИРОВКА №7**

Отправить по e-mail





Отправить на печать

Здравствуй, bur350!

bur350@yandex.ru

Ваши упражнения:

Комментарий тренера:

Упражнение	Тренажер	Комментарий тренера	Подход 1	Подход 2	Подход 3	Комментарий к упражнению
Тяга сверху на тренажере 	63; сиденье 7	Вес дисков на каждую сторону	25 / 10	45 / 10	65 / 10	<input type="text"/>
Тяга спереди, на тросовом тренажере, сидя 	49	Вес пластин: верхняя 10кг; остальные 9кг, круглые 1кг	46 / 6	64 / 6	82 / 6	<input type="text"/>
Дистальное разгибание туловища с EZ-штангой	61; вертикаль 8; горизонталь	Общий вес снаряда. Вес EZ-грифа 11,5кг.	- / 15	21,5 / 15	41,5 / 15	<input type="text"/>
Подъем плеч в тренажере Смита	71; 72	Суммарный вес дисков	40 / 10	60 / 10	80 / 10	<input type="text"/>
Сгибание рук у нижнего блока, стоя 	28	Сумма целых чисел	31 / 6	50 / 6	68 / 6	<input type="text"/>
Подъем ног в висе на лямках 	90		- / 30	- / 30	- / 30	<input type="text"/>

До конца тренировки осталось 2 ч. 58 мин. 38 сек.

Ваш текущий вес: 96 кг

Оставьте Ваш комментарий к тренировке:

Завершить тренировку

Рис. 1 – Тренировочное задание

Сбор исследуемых показателей, позволяющих контролировать результативность тренировочной программы, осуществляется непосредственно в таблице с перечнем указанных значений, по логике, заложенной тренером на этапе создания тренировочной программы. Пользователю предлагается ввести показатели в предназначенные для этого поля. Данные показатели также отображаются в панели управления тренера.

Панель управления позволяет тренеру быстро и в удобной форме создавать тренировочные программы СТАН для каждого конкретного занимающегося с учетом индивидуальных особенностей. Процесс генерации набора тренировок определенного тренировочного цикла в панели управления тренера в значительной части автоматизирован.

В панели управления тренера реализованы необходимые инструменты, позволяющие отслеживать тренировочный процесс, вести историю тренировок, фиксировать максимальные силовые показатели, анализировать изменения собранных данных.

Использование ПК СТАН позволяет тренеру значительно сократить время планирования тренировочного процесса и в то же время обеспечить пользователей выверенным тренировочным заданием, снабженным всеми необходимыми пояснениями и наглядными материалами. Личный кабинет пользователя доступен с любого устройства при наличии Интернета. Основной задачей тренера, в этом случае, становится контроль техники выполнения атлетических упражнений комплекса. Отсутствие необходимости прибегать к тренерскому конспекту тренировки каждого конкретного пользователя позволяет проводить учебно-тренировочное занятие сразу с несколькими занимающимися не нанося ущерб качественной составляющей.

Планирование и руководство тренировочным процессом осуществляет специалист по физической культуре и спорту (тренер). Медицинские параметры, используемые для контроля результативности, определяет врач соответствующей специализации и квалификации.

Таким образом, Программный комплекс СТАН может рассматриваться как неотъемлемая составляющая Спортивно-оздоровительной технологии атлетической направленности. Реализация методик СТАН при использовании программного комплекса позволяет существенно повысить их результативность. В таком виде методики СТАН могут применяться в атлетических залах спортивных и медицинских учреждений, а также фитнес-клубов при работе с заинтересованными людьми разного возраста, не имеющими медицинских противопоказаний.

Особая значимость данного продукта просматривается на фоне роста продолжительности жизни россиян и увеличении пенсионного возраста, что указывает на необходимость проведения профилактических и реабилитационных мероприятий для людей предпенсионного возраста, имеющих патологии опорно-двигательного аппарата.

Продукт может быть интересен для компаний, заинтересованных в повышении мотивации и работоспособности сотрудников предпенсионного возраста.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Боренштейн Д.Г. Боли в шейном отделе позвоночника. Диагностика и комплексное лечение: пер. с англ. / Д.Г. Боренштейн, С.В. Визель, С.Д. Боден. – М.: Медицина, 2005. – 792 с.
2. Боренштейн Д.Г. Избавься от боли в спине: Уникальные советы и рекомендации / Д.Г. Боренштейн. – М.: РИПОЛ-КЛАССИК, 2004. – 512 с.
3. Бубновский С.М. Руководство по кинезитерапии дорсопатий и грыж позвоночника / С.М. Бубновский. – М.: МАКС Пресс, 2002. – 100 с.
4. Бурмистров Д.А. Реабилитация при болях в спине средствами силовой тренировки: Монография. - 4-е изд., перераб. и доп. / Д.А. Бурмистров. - СПб.: Издательство "Лань", 2018. – 312с.
5. Вишневский А.А. Болезни позвоночника: взгляд современной медицины / А.А. Вишневский. – СПб.: Нев. проспект, 2007. – 128 с.
6. Гуло Л.Ф. Реабилитация больных пожилого и старческого возраста с переломом шейки бедра / Л.Ф. Гуло // Сборник методич. материалов по оказанию медико-социальной помощи пожилым и старым. – СПб. 1999. – С. 43-45.
7. Здоровая спина, или как избавиться от остеохондроза / сост. И.Н. Путьрский, В.Н. Прохоров, В.В. Голубков, П.А. Родионов. – 2-е изд., стереотип. – Минск: Кн. Дом, 2007. – 384 с.
8. Коровкин М.А. Как самостоятельно избавиться от боли / М.А. Коровкин. – М.: Миклош, 2006. – 87 с.
9. Прощаев К.И. Избранные лекции по гериатрии / К.И. Прощаев, А.Н. Ильницкий, С.С. Коновалов. Под ред. чл.-кор. РАМН В.Х. Хавинсона. – СПб.: Прайм-ЕВРОЗНАК, 2008. – 778с.
10. Селезнева, Л.М. Физкультура и оздоровительные мероприятия при коррекции возрастных изменений опорно-двигательного аппарата / Л.М. Селезнева, А.Л. Арьев. – СПб., Изд. МАПО, 1998. – 52 с.
11. Челноков В.А. Оздоровительная физическая культура при профилактике остеохондроза позвоночника у лиц старшего и пожилого возраста / В.А. Челноков. // Физкультурно-оздоровительная работа с людьми пожилого возраста: Метод. рекомендации. – М.: Сов. спорт, 2003. – С. 97-152.
12. Tinetti M.E. A multifactorial intervention to reduce the risk of falling among elderly people living in the community / M.E. Tinetti // N. Engl. J. Med. 1994. – V. 331. – P. 821.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Borenshtejn, D.G. Boli v shejnom otdele pozvonochnika. Diagnostika i kompleksnoe lechenie: per. s angl. [Pain in the cervical spine. Diagnosis and complex treatment: translate from English] / D.G. Borenshtejn, S.V. Vizej, S.D. Boden. – М.: Medicina, 2005. – 792 p. [in Russian]
2. Borenshtejn D.G. Izbav'sya ot boli v spine: Unikal'nye soveti i rekomendacii [Get rid of back pain: Unique tips and tricks] / D.G. Borenshtejn. – М.: RИPOL-KLASSIK, 2004. – 512 p. [in Russian]

3. Bubnovskij S.M. Rukovodstvo po kineziterapii dorsopatij i gryzh pozvonochnika [Guidelines for Kinesitherapy for Dorsopathies and Spinal Hernias] / S.M. Bubnovskij. – M.: MAKSS Press, 2002. – 100 p. [in Russian]
4. Burmistrov D.A. Reabilitaciya pri bolyah v spine sredstvami silovoj trenirovki: Monografiya [Rehabilitation for back pain by means of strength training: Monograph]. – 4th ed., Revised. and add. / D.A. Burmistrov. – SPb.: publishing house "Lan", 2018. – 312 p. [in Russian]
5. Vishnevskij A.A. Bolezni pozvonochnika: vzglyad sovremennoj mediciny [Diseases of the spine: a view of modern medicine] / A.A. Vishnevskij. – SPb.: Nev. prospekt, 2007. – 128 p. [in Russian]
6. Gulo L.F. Reabilitaciya bol'nyh pozhilogo i starcheskogo vozrasta s perelomom shejki bedra [Rehabilitation of elderly and senile patients with hip fracture] / L.F. Gulo // Collection of manuals materials on the provision of medical and social assistance to the elderly and old. – SPb. 1999. – P. 43-45. [in Russian]
7. Zdorovaya spina, ili kak izbavitsya ot osteohondroza [Healthy back, or how to get rid of osteochondrosis] / comp. I.N. Putyrsky, V.N. Prokhorov, V.V. Golubkov, P.A. Rodionov. – 2nd ed., Stereotype. – Minsk: Kn. Dom, 2007. – 384 p. [in Russian]
8. Korovkin, M.A. Kak samostoyatel'no izbavit'sya ot boli [How to get rid of pain yourself] / M.A. Korovkin. – M. : Miklosh, 2006. – 87 c. [in Russian]
9. Forgiveness K.I. Izbrannye lekciy po geriatrii [Selected lectures on geriatrics] / K.I. Forgiveness, A.N. Ilitsky, S.S. Kononov. Ed. Corr. RAMS V.Kh. Hawinson. – SPb.: Prajm-EVROZNAK, 2008. – 778 p. [in Russian]
10. Selezneva L.M. Fizkul'tura i ozdorovitel'nye meropriyatiya pri korrek-cii vozrastnyh izmenenij oporno-dvigatel'nogo apparata [Physical education and recreational activities in the correction of age-related changes in the musculoskeletal system] / L.M. Selezneva, A.L. Aryev. – SPb., publishing house MAPO, 1998. – 52 p. [in Russian]
11. Chelnokov V.A. Ozdorovitel'naya fizicheskaya kul'tura pri profilaktike osteohondroza pozvonochnika u lic starshego i pozhilogo vozrasta [Improving physical culture in the prevention of spinal osteochondrosis in older and older people] / V.A. Shuttles. // Fitness and health work with the elderly: Method. recommendations. – M.: Sov. sport, 2003. – P. 97-152. [in Russian]
12. Tinetti M.E. A multifactorial intervention to reduce the risk of falling among elderly people living in the community / M.E. Tinetti // N. Engl. J. Med. 1994. – V. 331. – P. 821.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.016>**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЦЕНОТИЧЕСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ *DACTYLORHIZA FUCHSII* (DRUCE) SOÓ (ORCHIDACEAE)**

Научная статья

**Ильина В.Н. \***

ORCID: 0000-0002-6692-2580,

Самарский государственный социально-педагогический университет, Самара, Россия

\* Корреспондирующий автор (Siva[at]mail.ru; ilina[at]pgsga.ru)

**Аннотация**

В Самарской области изучена онтогенетическая структура ценопопуляций редкого представителя *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó (Orchidaceae). Среди основных факторов, лимитирующих увеличение численности вида, следует назвать особенности онтогенеза и антропогенную нагрузку. Базовый онтогенетический спектр является полночленным центрированным с преобладанием зрелых генеративных особей (44,8%). Спектры конкретных изученных ценопопуляций нередко отличаются от базового и имеют правосторонний характер. Около 60% ценопопуляций являются стареющими, 40% – зрелыми (с учетом критериев возрастности и эффективности популяций).

**Ключевые слова:** *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó, Orchidaceae, ценопопуляция, онтогенетическая структура, Самарская область.

**FEATURES OF THE STRUCTURE OF COENOTIC POPULATIONS OF *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó (ORCHIDACEAE)**

Research article

**Ilyina V.N. \***

ORCID: 0000-0002-6692-2580,

Samara State Social and Pedagogical University, Samara, Russia

\* Corresponding author (Siva[at]mail.ru; ilina[at]pgsga.ru)

**Abstract**

The ontogenetic structure of ceonopopulations of a rare representative of *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó (Orchidaceae) was studied in the Samara region. Among the main factors limiting the increase in the number of species, it is worth mentioning the features of ontogenesis and anthropogenic stress. The basic ontogenetic spectrum is full member centered with a predominance of mature generative individuals (44.8%). The spectra of specific ceonopopulations studied are often different from the base and have a right-handed character. About 60% of ceonopopulations are aging, 40% are mature (with regard to the criteria of age and effectiveness of populations).

**Keywords:** *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó, Orchidaceae, coenopopulation, ontogenetic structure, Samara region.

На Юго-востоке европейской части России, в том числе на территории Самарской области, осуществляется мониторинг ценотических популяций редких видов растений. В связи со значительной антропогенной трансформацией природных комплексов растительные сообщества данной территории все больше теряют свои естественные черты. Это сказывается на сохранности редких растений, имеющих узкую экологическую амплитуду, произрастающих на краю ареала или в изолированных от основной части ареала пунктах, в том числе некоторых представителей сем. Орхидные (Orchidaceae).

Полученные сведения по структуре и динамике ценотических популяций редких растений необходимы для оценки современного состояния видов в регионе и разработки действенных мер по их сохранению и восстановлению. Многие представители семейства Orchidaceae в Самарской области представляют собой раритетные краеарейные виды, в значительной степени реагирующие на изменение условий окружающей среды и антропогенную трансформацию растительного покрова.

Пальчатокоренник Фукса (*Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó, Orchidaceae) охраняется на территории Самарской области, включен в Красную книгу региона с категорией редкости 3 (редкий вид) [9]. Также он занесен в Список видов растений Европы, находящихся под угрозой исчезновения, включен в Приложение I к Бернской конвенции об охране дикой фауны и флоры, и природных сред обитания в Европе, в Приложение II к Конвенции СИТЕС о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения. Вид охраняется в Российской Федерации [10].

Вид встречается в Западной и Восточной Сибири, Скандинавии, Средней и Атлантической Европе, Монголии. В Самарской области в настоящее время модельный вид встречается в Предволжье на территории Сызранского и Шигонского районов и в Заволжье в границах Исакинского и Красноярского муниципальных районов [9].

Лугово-лесной вид. Мезофит. Растет в широколиственных, мелколиственных лесах, на лесных полянах, лугах, в зарослях кустарников в болотистых лесах, на заболоченных лугах и болотах. Встречается в полутени и иногда на полном свете, но отличается лучшим виталитетом при затенении (факультативный сциофит). Не выносит избыточного увлажнения. Мало чувствителен к почвам.

Изучение онтогенетической структуры природных ценопопуляций редкого вида *Dactylorhiza fuchsii* проводилось в 2010-2018 гг. в Самарской области, при этом использовались уже ставшие традиционными рекомендации и критерии популяционно-онтогенетического подхода в биоэкологических исследованиях [2], [3]. При оценке демографических



параметров природных ценопопуляций использованы индексы замещения, восстановления, старения, возрастной, эффективности популяций растений. Первоначальные описания стадий онтогенеза *Dactylorhiza fuchsii* базировались на работах М.Г. Вахрамеевой [1]. В дальнейшем при изучении онтогенетической структуры вида вносились необходимые корректировки с учетом засушливых условий района исследований (Самарское Высокое Заволжье и Предволжье, лесостепная зона).

В онтогенезе *Dactylorhiza fuchsii* при прорастании семян формируется «протокорм», сначала ведущий подземный образ жизни (2-3 года), лишь на 3-4 (возможно более) год жизни формирующий первый зеленый лист и небольшой клубень (при оценке онтогенетической структуры считали данное образование проростком (р)). В природных условиях нередко данное состояние пропускается в связи с небольшими размерами и значительным углублением в почву.

В дальнейшем формируется ювенильное растение (j) с одним узколанцетным листом (с одной жилкой, лишь потом формируются боковые), небольшой клубень. Длительность состояния от 1-2 до 6 лет.

Имматурные особи (im) *Dactylorhiza fuchsii* в Самарской области имеют один более крупный лист и 5-8 боковых жилок, клубень несколько вытягивается. Длительность состояния – 1-4 года.

Виргинильные растения (v) имеют 2-3 крупных листа с 7-10 жилками и лопастной клубень. Длительность состояния – 2-3 года.

Молодые генеративные растения ( $g_1$ ) имеют 3-4 листа с 10-12 жилками, соцветие с 6-15 цветками. Длительность состояния 1-6 лет.

Зрелые генеративные растения ( $g_2$ ) имеют 5-8 листьев с 10-12 жилками, мощные лопастные клубни, в соцветиях 25-45 цветков. Длительность 2-7 и возможно более лет.

Старые генеративные растения ( $g_3$ ) имеют 4-8 листьев меньшего размера (по сравнению с другими генеративными особями) с 8-12 жилками, в соцветии 10-25 цветков; клубни лопастные, уменьшаются в размерах. Длительность 2-5 и возможно более лет.

Субсенильные особи (ss) имеют небольшие листья, числом 3-6 штук, с 7-12 жилками, клубни меньше, чем у генеративных особей. Длительность 1 год (возможно более).

Сенильные растения (s) в Самарской области не зарегистрированы.

Базовый онтогенетический спектр исследованных природных ценогенетических популяций *Dactylorhiza fuchsii* представлен на рисунке, обозначение онтогенетических групп зарегистрированных особей приведено согласно основным рекомендациям популяционно-онтогенетического направления биоэкологических исследований. Преобладающей группой особей в базовом онтогенетическом спектре популяций являются старые генеративные растения (48,2%), на второй позиции по общей численности находятся зрелые генеративные растения (15,6%). Значительную долю в составе ценопопуляций пальчатокоренника составляют виргинильные и молодые генеративные особи – около 11-13%. Особи, находящиеся на начальных стадиях большого жизненного цикла, представлены в составе ценопопуляций ювенильными и имматурными растениями – по 2% в каждой группе. Субсенильные растения характерны для все исследованных ценопопуляций *Dactylorhiza fuchsii* в Самарской области, их доля от общей численности особей превышает 8%. Особи в сенильном состоянии в природных популяциях Самарской области не зарегистрированы, что является характерным признаком для течения онтогенеза многих орхидных растений. Таким образом, исследования показали, что базовый онтогенетический спектр ценогенетических популяций охраняемого в Самарской области представителя сем. Орхидные *Dactylorhiza fuchsii* является полночленным правосторонним.

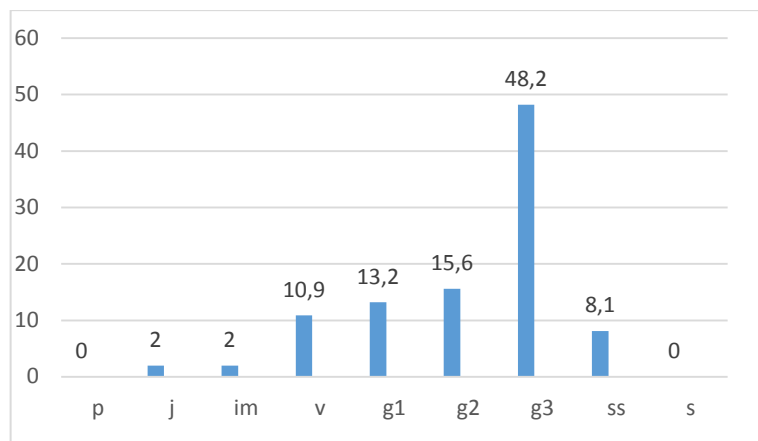


Рис. 1 – Базовый онтогенетический спектр популяций *Dactylorhiza fuchsii* в Самарской области (доли особей разных онтогенетических групп приведены в %)

Средние значения демографических показателей в ценопопуляциях изучаемого вида составили: индекса замещения особей ( $I_z$ ) – 0,06; и. восстановления ( $I_v$ ) – 0,07; и. старения ( $I_{ст}$ ) – 0,11; возрастной, дельта ( $\Delta$ ) – 0,52; эффективности, омега ( $\omega$ ) – 0,76. Закономерно наблюдается флуктуационная динамика онтогенетического состава ценопопуляций *Dactylorhiza fuchsii*, что свойственно многим редким видам растений, существующих в местообитаниях с близкими к оптимальным условиям. Однако не снижающийся уровень антропогенного пресса на фитоценозы приводит к постепенному старению ценогенетических популяций редкого для Российской Федерации в целом и Самарской области в частности представителя орхидей – *Dactylorhiza fuchsii*. Выявлено, что среди изученных ценопопуляций к зрелым относятся 49%, стареющим – 51%. В то же время, эти популяции характеризуются как неустойчивые (76%) и временно угасающие (24%).

Особенности онтогенеза, в том числе способность особей ко вторичному покою, в большей степени оказывают воздействие на динамику онтогенетической структуры ценопопуляций. Вторичный покой растений способствует «пережиданию» неблагоприятных условий существования, но и обуславливает временное относительное снижение численности видов растений.

Таким образом, среди факторов, ограничивающих нормальное развитие популяций и восстановление численности *Dactylorhiza fuchsii* в Самарской области, следует отметить особенности его онтогенеза, в том числе длительный прегенеративный период, низкую репродуктивную активность и, как следствие, небольшой банк семян в почве, катастрофическую гибель особей на начальных этапах онтогенеза, изменение эколого-фитоценологических условий местообитания при антропогенной нагрузке (как ведущий и фоновый фактор), рекреацию, в том числе сбор на букеты. В отличие от центральной части ареала, антропогенная нагрузка (вытаптывание травостоя и уплотнение почвы при прогоне скота, сенокошение, рекреация) оказывает значительное влияние на состояние и численность популяций пальчатокоренника в условиях лесостепи Самарского региона.

#### Финансирование

Работа выполнена в рамках ведения Красной книги региона.

#### Funding

The work was carried out as part of the Red List of the region.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Вахрамеева М.Г. Род Пальчатокоренник / М.Г. Вахрамеева // Биологическая флора Московской области. Вып. 14. – М.: Гриф и К°, 2000. – С. 55-86.
2. Животовский Л.А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений / Л.А. Животовский // Экология. – 2001. – № 1. – С. 3-7.
3. Жукова Л.А. Популяционная жизнь луговых растений / Л.А. Жукова. – Йошкар-Ола, 1995. – 224 с.
4. Ильина В.Н. Онтогенетическая структура и состояние популяций некоторых редких видов сем. *Orchidaceae* в Самарской области / В.Н. Ильина // Экология и география растений и растительных сообществ: материалы IV Международной научной конференции (Екатеринбург, 16–19 апреля 2018 г.). – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та; Гуманитарный ун-т, 2018. – С. 354-358.
5. Ильина В.Н. Онтогенетическая структура популяций пальчатокоренника мясо-красного (*Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó, *Orchidaceae*) в Самарской области / В.Н. Ильина // Эколого-географические проблемы регионов России: материалы IX всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения к.г.н., доцента Алексея Степановича Захарова. 15 января 2018 г., г. Самара / отв. ред. И.В. Казанцев. – Самара: СГСПУ, 2018. – С. 59-62.
6. Ильина В.Н. Онтогенетическая структура ценоценозов популяций некоторых редких представителей сем. *Orchidaceae* в условиях антропогенного пресса (Самарская область) / В.Н. Ильина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2018. – Т. 27, № 4(1). – С. 34-39. DOI: 10.24411/2073-1035-2018-10088
7. Ильина В.Н. К вопросу оптимизации изучения растительного покрова Самарской области / В.Н. Ильина, А.Е. Митрошенкова // Ботаника в современном мире. Труды XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции «Ботаника в современном мире» (г. Махачкала, 18-23 июня 2018 г.). Т. 1: Систематика высших растений. Флористика и география растений. Охрана растительного мира. Палеоботаника. Ботаническое образование. – Махачкала: АЛЕФ, 2018. – С. 259-262.
8. Ильина В.Н. Особенности структуры ценоценозов популяций *Cypripedium calceolus* L. (*Orchidaceae*) в Самарской области / В.Н. Ильина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 1 (79). Часть 1. – С. 124-127. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.79.1.023>.
9. Красная книга Самарской области. Том I. Редкие виды растений и грибов / под редакцией С. А. Сенатора, С. В. Саксонова. – Самара, 2017. (Издание 2-е, переработанное и дополненное). – 384 с.
10. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. – 855 с.
11. Работнов Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т.А. Работнов // Труды БИН АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. – 1950. – Вып. 6. – С. 77-204.
12. Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов / А.А. Уранов // Биологические науки. – 1975. – № 2. – С. 7-34.
13. Ценопопуляции растений: Основные понятия и структура. – М.: Наука, 1976. – 216 с.
14. Ценопопуляции растений. Развитие и взаимоотношения. – М.: Наука, 1977. – 183 с.
15. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). – М.: Наука, 1988. – 184 с.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Vakhrameyeva M.G. Rod Pal'chatokorennik [Genus *Dactylorhiza*] / Biologicheskaya flora Moskovskoy oblasti [Biological flora of the Moscow region]. Vyp. 14. – М.: Grif i K°, 2000. – P. 55-86. [in Russian]
2. Zhivotovskiy L.A. Ontogeneticheskiye sostoyaniya, effektivnaya plotnost' i klassifikatsiya populyatsiy rasteniy [Ontogenetic conditions, effective density and classification of plant populations] / L.A. Zhivotovskiy // Ekologiya [Ecology]. – 2001. – № 1. – P. 3-7. [in Russian]
3. Zhukova L.A. Populyatsionnaya zhizn' lugovykh rasteniy [Population life of meadow plants] / L.A. Zhukova. – Yoshkar-Ola, 1995. – 224 p. [in Russian]
4. Il'ina V.N. Ontogeneticheskaya struktura i sostoyaniye populyatsiy nekotorykh redkikh vidov sem. *Orchidaceae* v Samarskoy oblasti [Ontogenetic structure and state of populations of some rare species of the family *Orchidaceae* in the Samara region] / V.N. Il'ina // Ekologiya i geografiya rasteniy i rastitel'nykh soobshchestv: materialy IV Mezhdunarodnoy

nauchnoy konferentsii (Yekaterinburg, 16–19 aprelya 2018 g.) [Ecology and Geography of Plants and Plant Communities: Materials of the IV International Scientific Conference (Ekaterinburg, April 16–19, 2018)]. – Yekaterinburg: publishing house Ural. un-ta; Gumanitarnyy un-t, 2018. – P. 354-358. [in Russian]

5. Il'ina V.N. Ontogeneticheskaya struktura populyatsiy pal'chatoko-rennika myaso-krasnogo (*Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó, Orchidaceae) v Samarskoy oblasti [Ontogenetic structure of finger-rennik meat-red populations (*Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó, Orchidaceae) in the Sa-mar region] / V.N. Il'ina // Ekologo-geograficheskiye problemy regionov Rossii: materialy IX vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konfe-rentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchonnoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya k.g.n., dotsenta Alekseya Stepanovicha Zakharova. 15 yanvarya 2018 g., g. Samara / otv. red. I.V. Kazantsev [Ecological and geographical problems of the regions of Russia: materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the birth of Ph.D., associate professor Alexei Stepanovich Zakharov]. – Samara: SGSPU, 2018. – P. 59-62. [in Russian]

6. Il'ina V.N. Ontogeneticheskaya struktura tsenoticheskikh populyatsiy nekotorykh redkikh predstaviteley sem. Orchidaceae v usloviyakh antropo-gennogo pressa (Samarskaya oblast') [Ontogenetic structure of coenotic populations of some rare representatives of this family Orchidaceae in the conditions of the anthropogenic press (Samara region)] / V.N. Il'ina // Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii [Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology]. – 2018. – T. 27, № 4(1). – P. 34-39. DOI: 10.24411/2073-1035-2018-10088 [in Russian]

7. Il'ina V.N. K voprosu optimizatsii izucheniya rastitel'nogo pokrova Samarskoy oblasti [To the question of optimizing the study of the plant shelter of the Samara region] / V.N. Il'ina, A.Ye. Mitroshenkova // Botanika v sovremennom mire. Trudy XIV S"yezda Russkogo botanicheskogo obshchestva i konferentsii «Botanika v sovremennom mire» (g. Makhachkala, 18-23 iyunya 2018 g.). T. 1: Sistematika vysshikh rasteniy. Floristika i geografiya rasteniy. Okhrana rastitel'nogo mira. Paleobotanika. Botanicheskoye obrazovaniye [Botany in the modern world. Proceedings of the XIV Congress of the Russian Botanical Society and the conference "Botany in the Modern World" (Makhachkala, June 18-23, 2018). T. 1: Systematics of higher plants. Floristics and plant geography. Protection of the plant world. Paleobotany. Botanical education]. – Makhachkala: ALEF, 2018. – P. 259-262. [in Russian]

8. Il'ina V.N. Osobennosti struktury tsenoticheskikh populyatsiy *Cypripedium calceolus* L. (Orchidaceae) v Samarskoy oblasti [Features of the structure of coenotic populations of *Cypripedium calceolus* L. (Orchidaceae) in the Samara region] / V.N. Il'ina // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. – 2019. – № 1 (79). Chast' 1. – P. 124-127. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.79.1.023>. [in Russian]

9. Krasnaya kniga Samarskoy oblasti. Tom I. Redkiye vidy rasteniy i gribov [The Red Book of the Samara Region. Volume I. Rare species of plants and fungi] / S. A. Senatora, S. V. Saksonova. – Samara, 2017. (2-nd ed.,– 384 p. [in Russian]

10. Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby) [The Red Book of the Russian Federation (plants and fungi)]. – M.: T-vo nauch. publishing house. KMK, 2008. – 855 p. [in Russian]

11. Rabotnov T.A. Zhiznennyy tsikl mnogoletnikh travyanistyykh rasteniy v lugovykh tsenozakh [Life cycle of perennial herbaceous plants in meadow coenoses] / T.A. Rabotnov // Trudy BIN AN SSSR. Ser. 3. Geobotanika [Proceedings of the USSR Academy of Sciences BIN Ser. 3. Geobotany]. – 1950. – Vyp.6. – P. 77-204. [in Russian]

12. Uranov A.A. Vozrastnoy spektr fitotsenopopulyatsiy kak funktsiya vremeni i energeticheskikh volnovykh protsessov [Age spectrum of phytocenopopulations as a function of time and energy wave processes] / A.A. Uranov // Biologicheskkiye nauki [Biological science]. – 1975. – № 2. – P. 7-34. [in Russian]

13. Tsenopopulyatsii rasteniy: Osnovnyye ponyatiya i struktura [Plant cenopopulations: Basic concepts and structure]. – M.: Nauka, 1976. – 216 p. [in Russian]

14. Tsenopopulyatsii rasteniy. Razvitiye i vzaimootnosheniya [Plant cenopopulations. Development and relationship]. – M.: Nauka, 1977. – 183 p. [in Russian]

15. Tsenopopulyatsii rasteniy (ocherki populyatsionnoy biologii) [Plant cenopopulations (population biology essays)]. – M.: Nauka, 1988. – 184 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.017>

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАПАСОВ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ ПРОМЫСЛОМ И ЛЮБИТЕЛЬСКИМ РЫБОЛОВСТВОМ В ЧОГРАЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Научная статья

**Карнаухов Г.И. \***

ORCID: 0000-0003-4038-1699,

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Краснодар, Россия

\* Корреспондирующий автор (gik23[at]mail.ru)

### Аннотация

Приведены сведения о запасах промысловых видов рыб и промышленном вылове. Получены данные о средней численности рыболовов-любителей на 1 км береговой линии и общей массы изымаемой рыбы. Анализируются материалы по промышленному изъятию водных биоресурсов в сравнении с любительским рыболовством. Дана оценка общего вылова водных биоресурсов в сравнении с рекомендуемыми объемами добычи.

**Ключевые слова:** водохранилище, запас водных биоресурсов, промышленный лов, рыболовы-любители, освоение рекомендуемого вылова.

## USE OF SUPPLY OF AQUATIC BIO-RESOURCES RESOURCES FOR FISHING AND AMATEUR FISHING IN CHOGRAISK RESERVOIR

Research article

**Karnaukhov G.I. \***

ORCID: 0000-0003-4038-1699,

Azov-Black Sea Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Krasnodar, Russia

\* Corresponding author (gik23[at]mail.ru)

### Abstract

The article contains information on the supply of commercial fish species and commercial fishing. Data were obtained on the average number of amateur fishermen per 1 km of coastline and the total mass of fish caught. The materials on the industrial reserve of aquatic bio-resources in comparison with recreational fishing are analyzed. The estimation of the total catch of aquatic bio-resources is given in comparison with the recommended production volumes.

**Keywords:** reservoir, the supply of aquatic bio-resources, industrial fishing, amateur fishers, development of the recommended catch.

В настоящее время в условиях антропогенного воздействия на водные биоресурсы особую актуальность приобретают работы по оценке их состояния и эффективному использованию [1, С. 24], [2, С.33].

Чограйское водохранилище - искусственный водоём на границе Ставропольского края и Республики Калмыкия. Водоохранилище, сформированное плотиной Чограйского гидроузла на реке Восточный Маньч, используется в основном в сельскохозяйственных целях. Его заполнение происходило в 1969-1973 гг. Как рыбохозяйственный водоем Чограйское водохранилище используется с 1975 года.

Вода водохранилища отличается повышенной минерализацией. По классификации О.А. Алекина [3, С. 440], вода Чограйского водохранилища относится к категории вод сульфатно-хлоридного класса, содержание сульфатов в различные годы колеблется от 645 до 920 мг/л, хлоридов от 304 до 650 мг/л. Общая минерализация воды в водохранилище в летний сезон находится на уровне 1,7 г/л.

Водные биологические ресурсы (ВБР) Чограйского водохранилища активно используются населением Ставропольского края и Республики Калмыкия в структуре промышленного и любительского рыболовства. В течение последних 10 лет осуществляются ежегодные комплексные ихтиологические и гидробиологические исследования водоема.

Цель настоящей работы является анализ современного состояния запасов основных промысловых видов рыб и оценка их использования промыслом и любительским рыболовством.

Оценка запасов промысловых видов рыб проводилась методом прямого учета [4, С. 228], [5, С. 180].

Для характеристики промышленного и любительского рыболовства использовались материалы официальной рыбопромысловой статистики и наблюдений Калмыцкого государственного университета им. Б.Б. Городовикова [6, С. 47].

Следует отметить, что состояние сырьевой базы Чограйского водохранилища достаточно устойчивое. Ихтиофауна этого водоема сформирована из речных рыб-аборигенов и частично за счет плановых зарыблений молодью толстолобика.

Расчетная величина абсолютного промыслового запаса ихтиофауны водохранилища в настоящее время в среднем составляет около 1,2 тыс. тонн. Промысловое освоение рыбных запасов в Чограйском водохранилище началось практически сразу после заполнения. В первые годы вылов рыбы находился на уровне 165,0 тонн и основу промысла составлял сазан (85,1 %) [7, С. 72]. Промысловый запас и вылов рыбы представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Промысловый запас и вылов водных биоресурсов в Чограйском водохранилище, тонн

Вид	Годы							
	2014		2015		2016		2017	
	Запас	Вылов	Запас	Вылов	Запас	Вылов	Запас	Вылов
Сазан	101,4	15,0	105,4	26,8	112,6	11,3	110,8	11,3
Лещ	564,0	74,4	562,1	118,3	558,6	46,1	562,4	44,2
Плотва	46,7	7,1	49,3	12,9	50,2	6,3	51,3	5,9
Густера	8,8	1,3	9,3	2,6	10,2	1,2	10,0	1,6
Карась	220,1	53,7	225,4	106,5	232,4	40,0	228,4	35,1
Толстолоб	5,9	2,3	2,9	2,0	1,3	0	0,5	0,02
Судак	49,1	5,1	46,2	8,8	44,6	4,0	40,8	3,7
Окунь	168,5	40,3	172,4	70,8	176,8	26,5	164,6	28,6
Щука	16,4	1,7	15,2	2,7	14,1	1,2	12,4	0,5
Прочие	8,0	1,4	8,1	4,1	8,8	1,4	9,2	1,6
<b>Итого:</b>	<b>1188,9</b>	<b>202,3</b>	<b>1196,3</b>	<b>355,5</b>	<b>1209,6</b>	<b>138,0</b>	<b>1190,4</b>	<b>132,52</b>

Конечно, эта методика подсчетов не учитывает некоторые важные факторы. Во-первых, акватория водохранилища используется любителями не полностью и неравномерно: есть участки более популярные. Во-вторых, активность рыболовов-любителей варьирует на протяжении года по дням недели и по сезонам. С учетом всех этих факторов, были получены данные о средней численности рыболовов-любителей на 1 км береговой линии. Среднегодовая численность рыболовов-любителей не превышает 1,7 человек на 1 км, а средний вес пойманной рыбы не превышает 1,9 кг.

Длина береговой линии Чограйского водохранилища составляет 110,1 км, таким образом, в среднем ежедневно на водоеме находится около 187 рыболовов-любителей, которые вылавливают около 363,0 кг рыбы. В годовом исчислении этот показатель составит около 132,4 тонн. Цифра правдоподобная, поскольку рыболовов-любителей на водоеме много, к тому же некоторые рыбаки не прочь в ночное время половить сетью. Сравнение максимальной промышленной добычи рыбы в 2015 году с любительским выловом представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение промышленного и любительского вылова ВБР

Вид	Средняя масса, кг	Вылов, тонн		Соотношение промышленного и любительского вылова, %
		Промышленный	Любительский	
Сазан	1,15	26,8	17,1	63,8
Лещ	0,19	118,3	25,8	21,9
Плотва	0,09	12,9	8,9	69,0
Густера	0,1	2,6	2,1	80,8
Карась	0,18	106,5	44,2	41,5
Красноперка	0,12	4,1	6,1	148,8
Толстолобик	1,5	2,0	-	0
Линь	0,25	-	0,4	100,0
Судак	0,68	8,8	5,1	58,0
Окунь	0,17	70,8	17,9	25,3
Щука	0,92	2,7	4,8	177,8
<b>Итого:</b>		<b>355,5</b>	<b>132,4</b>	<b>37,3</b>

По данным некоторых исследователей наибольшее количество рыболовов-любителей отмечается в периоды с конца марта до середины июня и с начала сентября до конца ноября, а также в зимний период при устойчивом ледовом покрове. Максимальная плотность рыболовов отмечается осенью и в среднем за год она составляет около 36 чел. на 1 км. Видовой состав любительских уловов состоит из 11 видов рыб: сазан, лещ, густера, серебряный и золотой караси, плотва, красноперка, линь, окунь, судак, щука. По уловам доминируют окунь (26,1%), красноперка (30,8%) и карась серебряный (12,8%). Средний улов в сутки на одного рыболова-любителя составляет около 2,3 кг, а за год вылавливается около 37,4 т. Установлено, что любительский вылов щуки, красноперки и линя превышают промышленный вылов этих видов [6, С.47].

В последние годы ежегодный рекомендуемый вылов водных биоресурсов в Чограйском водохранилище в среднем составляет не более 445,0 т, промыслом осваивается около 210,0 т, а с учетом вылова рыболовами-любителями общее изъятие рыбы находится на уровне 345,0 т.

Принимая во внимание, что в водохранилище ведется и браконьерский лов рыбы, о чем свидетельствует большое количество использованных сетных орудий лова, можно предположить, что рекомендуемые объемы вылова водных биоресурсов осваиваются полностью или даже превышают расчетную величину.

Таким образом, можно заключить, что водные биологические ресурсы Чограйского водохранилища испытывают значительный пресс со стороны рыболовов-любителей. Изъятие водных биоресурсов в Чограйском водохранилище находится на предельно допустимой отметке. Дальнейшее увеличение нагрузки на рыбные запасы со стороны рыболовов-любителей может поставить численность промысловых видов рыб на грань перелома. Нельзя недооценивать и негативную роль браконьерства, которое представляет реальную угрозу для популяций рыб.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Седова Н.А. Особенности пастбищной рыбохозяйственной эксплуатации малых водохранилищ центральных регионов России : автореф. дис. канд. биол. Наук / Седова Н.А. М.: Изд-во ВНИИПРХ, 2000. - 24 с.
2. Карнаухов Г.И. Повышение эффективности использования водоемов Ставропольского края / Карнаухов Г.И., Скляр В.Я. // Рыбоводство. 2012. № 3-4. С. 33-34.
3. Алёкин О.А. Основы гидрохимии / Алёкин О.А. Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 440 с.
4. Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / Аксютин З.М. // М.: Пищ. пром-ть, 1968. - 288 с.
5. Котляр О.А. Методы рыбохозяйственных исследований (ихтиофауна) / Котляр О.А. / Рыбное, 2004. - 180 с.
6. Панфилий А.М. Характеристика некоторых внутренних водоёмов Республики Калмыкия с точки зрения развития любительского рыболовства / Панфилий А.М. / Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова. Элиста, 2016. - 47 с.
7. Рыбакова А.В. Анализ промыслового вылова рыб Чограйского водохранилища / Рыбакова А.В. // Вестник института комплексных исследований аридных территорий. 2011. Вып. 2 (23). - С. 70-73.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Sedova N.A. Osobennosti pastbishchnoi rybokhozyaistvennoi ekspluatatsii malyykh vodokhranilishch tsentralnykh regionov Rossii : avtoref. dis. kand. biol. Nauk [Features of Pasture Fisheries Exploitation of Small Reservoirs in Central Regions of Russia: Thesis Abstract of PhD in Biol] / Sedova N.A. M.: Publishing House of VNIIPRKh, 2000. - 24 p. [in Russian]
2. Karnaukhov G.I. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya vodoemov Stavropolskogo kraia [Improving the Efficiency of the Use of Water Bodies in the Stavropol Territory] / Karnaukhov G.I., Sklyarov V.Ya. // Ribovodstvo [Fish Farming]. 2012. No. 3-4. P. 33-34. [in Russian]
3. Alyokin O.A. Osnovy gidrokhimii [Basics of Hydrochemistry] / Alyokin O.A. L.: Gidrometeizdat, 1970. - 440 p. [in Russian]
4. Aksyutina Z.M. Elementy matematicheskoi otsenki rezultatov nablyudenii v biologicheskikh i rybokhozyaistvennykh issledovaniyakh [Elements of Mathematical Evaluation of the Results of Observations in Biological and Fisheries Research] / Aksyutina Z.M. // M.: Food Industry, 1968. - 288 p. [in Russian]
5. Kotlyar O.A. Metody rybokhozyaistvennykh issledovaniy (ikhtiofauna) [Fisheries Research Methods (Ichthyofauna)] / Kotlyar O.A. // Rybnoe, 2004. - 180 p. [in Russian]
6. Panfilii A.M. Kharakteristika nekotorykh vnutrennikh vodoyomov Respubliki Kalmykiya s tochki zreniya razvitiya lyubitelskogo rybolovstva [Description of Some Inland Waters of the Republic of Kalmykia in Terms of Development of Recreational Fishing] / Panfilii A.M. // Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova. Elista, 2016. - 47 p. [in Russian]
7. Rybakova A.V. Analiz promyslovogo vylova ryb Chograiskogo vodokhranilishcha [Analysis of Commercial Fishing of the Chograisk Reservoir] / Rybakova A.V. // Vestnik instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territoriy [Bulletin of the Institute for Integrated Research in Arid Territories]. 2011. Issue. 2 (23). - P. 70-73. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.018>**ВЛИЯНИЕ СОВОКУПНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ СОЗРЕВАНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ПРИЖИЗНЕННОЙ ИКРЫ**

Научная статья

**Сариев Б.Т.<sup>1</sup>, Туменов А.Н.<sup>2</sup>, Бакиев С.С.<sup>3\*</sup>, Джунусов А.М.<sup>4</sup>, Абуов К.Н.<sup>5</sup>**<sup>1,2</sup> НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, Казахстан;<sup>3</sup> РГП на ПХВ «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», Алматы, Казахстан;<sup>4,5</sup> ТОО «Учебно-научный комплекс опытно – промышленного производства аквакультуры», Уральск, Казахстан

\* Корреспондирующий автор (serik\_2595[at]mail.ru)

**Аннотация**

В представленной статье описываются результаты научно-исследовательской работы по преднерестовому выдерживанию производителей осетровых рыб. По результатам проведенных исследований, определены нерестовые температуры производителей при нахождении рыб в условиях искусственной зимовки в установках с замкнутым циклом водоснабжения, изучены гидрохимический состав и качество воды поступающей в систему. А так же при гормональной стимуляции нереста гипофизарными препаратами определена общая доза препарата. Установлено, что оптимальный коэффициент поляризации ооцитов для отбора производителей колеблется от 0,05 до 0,15  $K_n$ .

**Ключевые слова:** осетровые рыбы, икра полученная прижизненным способом, УЗВ, гормональные стимуляции, температурный режим.

**INFLUENCE OF COMPLEX OF DIFFERENT TECHNOLOGICAL FACTORS ON EFFECTIVENESS OF THE PROCESSES OF MATURATION AND OBTAINING INTRAVIAL CAVIAR**

Research article

**Sariev B.T.<sup>1</sup>, Tumenov A.N.<sup>2</sup>, Bakiev S.S.<sup>3\*</sup>, Dzhunusov A.M.<sup>4</sup>, Abuov K.N.<sup>5</sup>**<sup>1,2</sup> Non-Profit JSC “West Kazakhstan Agrarian-Technical University named after Zhangir khan”, Uralsk, Kazakhstan;<sup>3</sup> Republican State Enterprise on the Right of Economic Use “Al-Farabi Kazakh National University”, Almaty, Kazakhstan;<sup>4,5</sup> LLC “Educational and Scientific Complex of Experimental and Industrial Production of Aquaculture”, Uralsk, Kazakhstan

\* Corresponding author (serik\_2595[at]mail.ru)

**Abstract**

This article describes the results of research work on pre-spawning maturing sturgeon fish. Based on the results of the studies, we determined spawning temperatures for fish under artificial wintering conditions in places with a closed water supply cycle, while the hydrochemical composition and quality of the water entering the system were studied. Hormonal stimulation of spawning by pituitary preparations and the total dose of the drug were determined as well. It was established that the best possible polarization coefficient of oocytes for the selection of manufacturers ranges from 0.05 to 0.15  $K_n$ .

**Keywords:** sturgeon fish, caviar obtained by intravital method, ultrasound, hormonal stimulation, temperature regime.

Одна из основных целей разведения и выращивания осетровых рыб в УЗВ – производство ценной и доброкачественной пищевой продукции [1, С. 27], [2, С. 232], [3, С. 286].

Среди продукции осетровых видов рыб в УЗВ, наибольшую ценность как в пищевом, так и экономическом отношении представляет икра. Используемые в настоящее время технологии позволяют получать икру прижизненным способом. Способы прижизненного получения овулировавшей икры позволяют полностью использовать репродуктивный потенциал самок при их многократном созревании.

Исследования проводились в рамках программы грантового финансирования Комитета науки МОН РК по теме ИРН АР05135607 «Совершенствование технологии переработки икры осетровых, полученной прижизненным способом».

Научно-исследовательскую работу проводили на базе НИИ ЗКАТУ имени Жангир хана и ТОО «Учебно-научный комплекс опытно – промышленного производства аквакультуры». Предварительный отбор зрелых производителей проводили с помощью УЗИ сканера. Отобранных с помощью УЗИ сканера производителей подвергали биопсии, то есть с помощью шупа отбирали для определения коэффициента поляризации образцы ооцитов (икра). После определения коэффициента поляризации ( $K_n$ ) по рекомендациям М.С. Чебанова [4, С. 252] самок разделили по группам. Для получения зрелых половых продуктов использовали 2, 3 и 4 группы, где  $K_n$  соответствовал следующим критериям-  $0,05 \leq K_n < 0,10$ ,  $0,10 \leq K_n < 0,12$  и  $0,12 \leq K_n < 0,15$ . Следующий этап при биотехнике получения прижизненной икры - это зимовка производителей (рис. 1).



Рис. 1 – Зимовка производителей в специальных бассейнах (чиллер)

Основным критерием для выбора режима преднерестового выдерживания зрелых самок в практике работы рыбоводов являются значения коэффициентов поляризации ( $K_n$ ) полученной при биопсии.

Продолжительность преднерестового выдерживания для производителей осетровых рыб является теплозапас, которой рассчитывается в градусо-днях. Отклонение от нерестового режима приводит к десинхронизации созревания ооцитов и, как результат к снижению качества полученной икры [5, С. 19].

В условиях установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) для оптимизации работы эндокринной системы проводили искусственную зимовку. В специально оборудованных бассейнах с охлаждающими системами производителей содержали в преднерестовый период, снижали температуру воды до 4-6°C постепенно, в течение десяти дней, на 1-2°C в сутки. При 4-6°C рыб выдерживали в течение 28-30 дней, затем постепенно в течение двух недель повышали температуру до нерестовой 14-15°C. В период выдерживания производителей происходит синхронизация показателей поляризации ооцитов у самок. С достижением нерестовой температуры производителей подготавливали к гормональной стимуляции.

В период зимовки необходимо учитывать абиотические факторы и осуществлять контроль за параметрами водной среды. Состав водной среды в специализированных системах и установках формируется под воздействием следующих факторов: качества и состава воды, поступающей в систему, регулирование температурного, гидрохимического и кислородного режимов.

Во время преднерестового выдерживания производителей, необходимо постоянно следить за гидрохимическим режимом, так как при низких температурах биофильтр, который превращает, нитриты в нитраты (менее опасных для рыб) нормально не функционирует. Поэтому, возможны скачки в сторону увеличения концентрации нитритов (рис. 2).

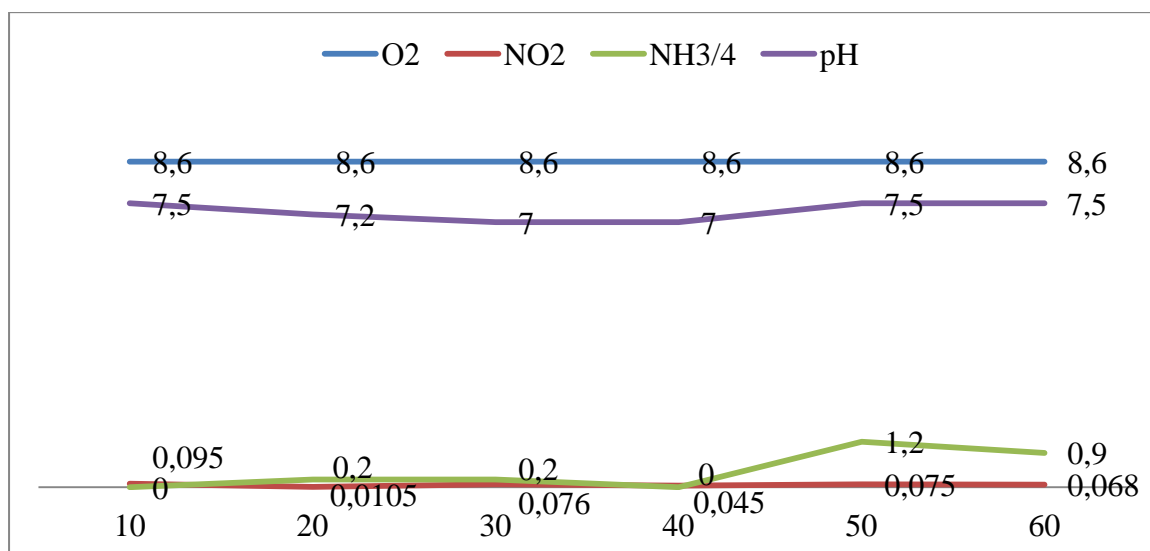


Рис. 2 – Гидрохимический анализ зимовки производителей в специальных бассейнах (чиллер)

Насыщение воды кислородом колебалось в пределах от 78 до 89 %. Количество нитритов, наиболее опасных для рыб, находилось в пределах допустимой нормы 0,095 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2). При этом аммонийный азот является менее опасен для рыб, но при повышении допустимой нормы значения аммонийного азота может оказывать влияние на колебания pH в воде. В период зимовки при температуре +4-6° С кормление не производилось в связи с чем значения аммонийного азота не превышали установленных норм предельно-допустимых концентраций.

Колебание pH среды находилось в среднем 7,5, что является оптимальным для выращиваемых рыб, а также для развития нитрифицирующих бактерий.



При гормональной стимуляции нереста гипофизарными препаратами следует отдавать предпочтение дробным инъекциям, общая доза препарата зависит от температуры воды и массы рыбы, а доля предварительной инъекции – от степени зрелости ооцитов, оцениваемой по значению коэффициента поляризации.

Стимуляцию самок гормональными препаратами осуществляли при температуре воды 14° С, поэтапно, комбинируя гормональные препараты. Предварительную инъекцию проводили суспензией гипофиза половозрелых карповых рыб в дозе 0,6 мг/кг живой массы, а разрешающую инъекцию - синтетический препарат «Сурфагон» в дозе 4,0 мкг/кг, с интервалом между инъекциями 12 часов (табл. 1).

Таблица 1 – Получение зрелых половых продуктов прижизненным способом

№	Вид рыбы	Идентификационный номер	$K_n$	Вес рыбы, кг	Вес икры сырка, кг
1	2	3	4	5	6
1	Бестер (белуга х стерлядь)	00074D2FAO	0,12	10,10	1,530
2	Бестер (белуга х стерлядь)	00074D7E49	0,05	11,60	1,710
3	Бестер (белуга х стерлядь)	00074D4EB5	0,15	22,40	2,708
4	Бестер (белуга х стерлядь)	00074D4276	0,07	14,4	1,478
1	2	3	4	5	6
5	Ролек (русский х ленский осетр)	0007459CA6	0,15	22,10	4,410
6	Ролек (русский х ленский осетр)	00074F4E8	0,14	18,46	запланированное время не отдала икру
7	Ролек (русский х ленский осетр)	00074D1F1D	0,14	11,40	1,980
8	Ролек (русский х ленский осетр)	00074D722E	0,14	17,20	запланированное время не отдала икру
9	Ролек (русский х ленский осетр)	00074FE57C	0,15	20,50	4,380
10	Сибирский осетр	-	0,15	7,80	0,650

Данные табл. 1 показывают, что 80 % производителей в интервале до 38 часов, дали икру. Зрелые половые продукты получали прижизненным методом с помощью способа «Подушки», общая масса икры сырка составила 18,85 кг. В среднем на общую массу одной рыбы приходится 15,67 % икры сырка.

А также в результате проведенных исследований определены параметры сохранения технологических факторов, при получении товарной икры осетровых рыб. Основным технологическим фактором для получения прижизненной икры является температурный режим преднерестового выдерживания (температурный режим искусственной зимовки) производителей. При проведении искусственной зимовки производителей осетровых рыб, был разработан температурный график (рис. 3).

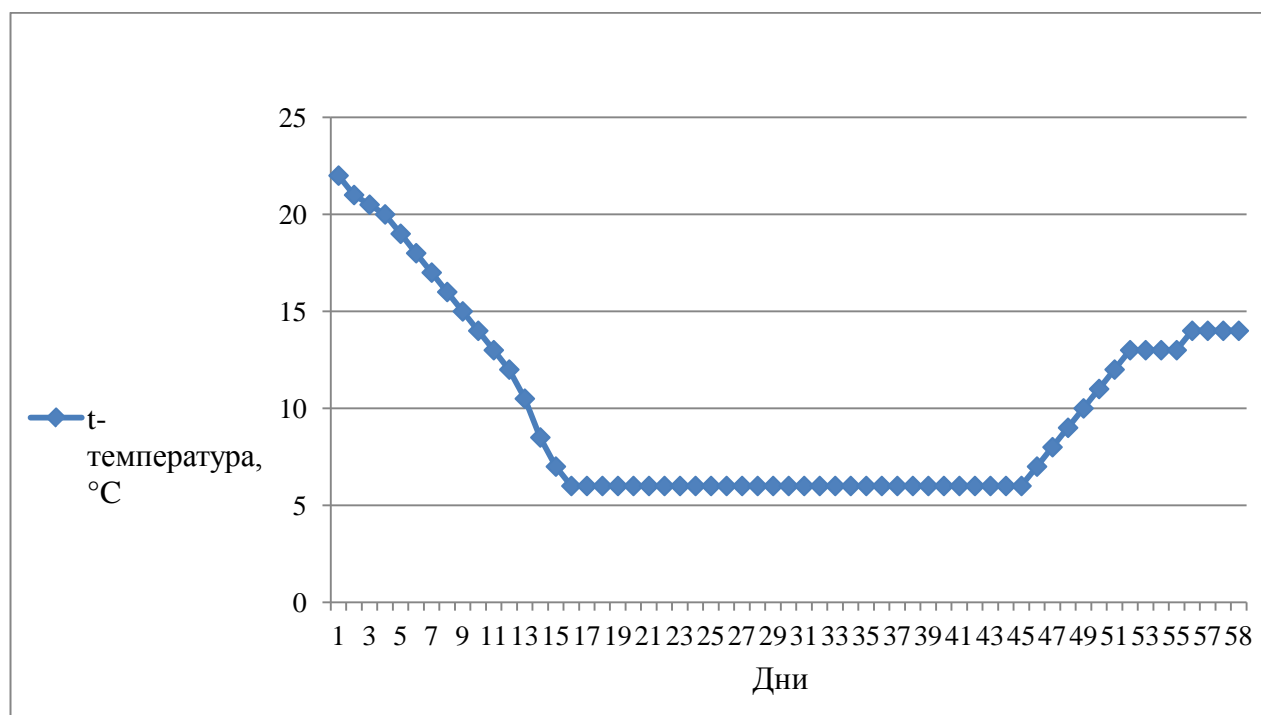


Рис. 3 – Температурный график зимовки производителей в специальных бассейнах (чиллер)

Таким образом, установлено, что оптимальный коэффициент поляризаций ооцитов для отбора производителей колеблется от 0,05 до 0,15  $K_n$ . Определено, что оптимальная продолжительность преднерестового выдерживания в зависимости от поляризаций ооцитов составляет 50-58 дней. Температура выдерживания варьируется от 4 до 22°С.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Кокоза, А.А. Искусственное воспроизводство осетровых / Л.И. Камоликова, Н.А. Измайлова. – А. : Рыб. хоз-во, 1995. — С. 27-28.
2. Бурцев И.А. Получение потомства от межвидового гибрида белуги со стерлядью / Бурцев И.А. // Генетика, селекция и гибридизация рыб. — М. : Наука, 1969. — С. 232-242.
3. Получение зернистой икры из осетровых искусственного выращивания / Т.Слущкая [и др.]. – Т.: Известия ТИНРО. 2012. – С. 286-297.
4. Чебанов, М.С. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб / М.С. Чебанов, Е.В. Галич. - Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН Анкара, 2010. – С. 252-280.
5. Совершенствование технологии переработки икры осетровых, полученной прижизненным способом / АО «Нац. центр научно-техн. информ.»: рук. Сариев Б. Т.; исполн.: Туменов А. Н. – Уральск, 2018. – 66 с. – № ГР 0118РК00865. – Инв . № 0218РК00796.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Kokoza A.A. Iskustvennoe vosproizvodstvo osetrovyyh [Artificial reproduction of sturgeons] / L.I. Kamolikova, N.A. Izmajlova. – A. : Ryb. hoz-vo, 1995. — 27-28 pp. [in Russian]
2. Burcev I.A. Poluchenie potomstva ot mezhvidovogo gibrida belugi so sterlyad'yu [Getting offspring from an interspecific hybrid of a beluga with a sterlet] Burcev I.A. // Genetika, selekciya i gibridizaciya ryb [Genetics, selection and hybridization of fish]. — M. : Nauka, 1969. — 232-242 pp. [in Russian]
3. Sluckaya T. Poluchenie zernistoj ikry iz osetrovyyh iskusstvennogo vyrashchivaniya [Obtaining granular caviar from sturgeon artificial cultivation] / T.Sluckaya – T.: Izvestiya TINRO [News of Pacific Fisheries Research Center]. 2012. – 286-297 pp. [in Russian]
4. CHEbanov M.S. Rukovodstvo po iskuststvennomu vosproizvodstvu osetrovyyh ryb [Guidelines for Artificial Reproduction of Sturgeons] / M.S. CHEbanov, E.V. Galich. - Prodovol'stvennaya i sel'skohozyajstvennaya organizaciya OON Ankara [UN Food and Agriculture Organization Ankara], 2010. – 252-280 pp. [in Russian]
5. Sariev B. T. Sovershenstvovanie tekhnologii pererabotki ikry osetrovyyh, poluchenoj prizhiznennym sposobom [Improving the processing technology of sturgeon caviar obtained in vivo] / АО «Nac. centr nauchno-tekhn. inform.»: ruk. Sariev B. T.; ispoln.: Tumenov A. N. – Ural'sk [JSC "National center of scientific and technical. inform. ": Leader. Sariev B.T; performer: A. Tumenov - Uralsk], 2018. – 66 p. – № GR 0118RK00865. – Inv . № 0218RK00796. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.019>**ПОКАЗАТЕЛИ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС ПРИ ДЕЙСТВИИ БИС(2-ПИРИДИЛ)-3-(1,2,4-ТРИАЗОЛИЛ)ПРОПАНА**

Научная статья

**Раваева М.Ю.<sup>1</sup>, Чуян Е.Н.<sup>2</sup>, Черетаев И.В.<sup>3,\*</sup>, Придатко А.И.<sup>4</sup>, Шульгин В.Ф.<sup>5</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-9629-9726;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6240-2732;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-1852-4323;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-1750-3697;<sup>5</sup> ORCID: 0000-0002-5047-2992;<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Симферополь, Россия

\* Корреспондирующий автор (5612178[at]ukr.net)

**Аннотация**

В статье представлены результаты изучения влияния бис(2-пиридил-1,2,4-триазолил-3)пропана в дозах 5, 50, 100, 150 и 200 мг/кг на показатели кардиореспираторной системы самцов и самок крыс. Эксперименты проведены на 84 крысах линии Вистар (42 самца и 42 самки). Показано, что бис(2-пиридил-1,2,4-триазолил-3)пропан (БТП) в дозе 50 мг/кг оказывает наиболее выраженное влияние на процессы регуляции микроциркуляции, что проявлялось в увеличении активности всех факторов регуляции микроциркуляции. В этой дозе он проявляет гипотензивное, вазорелаксирующее и отрицательное хронотропное действие. В дозе 100 мг/кг БТП проявляет гипертензивный, вазоконстрикторный и положительный хронотропный эффекты. Вероятно, что наличие в молекуле БТП 1,2,4-триазолина является определяющим для появления кардио- и вазотропных свойств.

**Ключевые слова:** бис(2-пиридил-1,2,4-триазолил-3)пропан, кардиореспираторная система, крысы, артериальное давление, микроциркуляция.

**INDICATORS OF CARDIORESPIRATORY SYSTEM OF RATS UNDER THE EFFECT OF BIS (2-PYRIDYL) -3-(1,2,4-TRIAZOLYL) PROPANE**

Research article

**Ravaeva M.Yu.<sup>1</sup>, Chuyan E.N.<sup>2</sup>, Cheretaev I.V.<sup>3,\*</sup>, Pridatko A.I.<sup>4</sup>, Shulgin V.F.<sup>5</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-9629-9726;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6240-2732;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-1852-4323;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-1750-3697;<sup>5</sup> ORCID: 0000-0002-5047-2992;<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Tauride Academy (Structural Unit) of FSAEI of HE V.I. "Vernadsky Crimean Federal University", Simferopol, Russia

\* Corresponding author (5612178[at]ukr.net)

**Abstract**

The article presents the results of the study of the effect of bis (2-pyridyl-1,2,4-triazolyl-3) propane in doses of 5, 50, 100, 150, and 200 mg/ kg on the cardiorespiratory system of male and female rats. The experiments were performed on 84 Wistar rats (42 males and 42 females). It was shown that bis (2-pyridyl-1,2,4-triazolyl-3) propane (BTP) at a dose of 50 mg/kg has the most pronounced effect on the regulation of microcirculation, which was manifested in the increase of the activity of all factors regulating microcirculation. At this dose, it exhibits a hypotensive, vaso-relaxing and negative chronotropic effect. At a dose of 100 mg/kg, BTP exhibits hypertensive, vaso-constrictive, and positive chronotropic effects. It is likely that the presence of 1,2,4-triazolyl in the BTP molecule is crucial for the emergence of cardio and vaso-tropic properties.

**Keywords:** bis (2-pyridyl-1,2,4-triazolyl-3) propane, cardiorespiratory system, rats, blood pressure, microcirculation.

**Введение**

Приоритетной задачей госполитики Российской Федерации в сфере развития фармакологической промышленности является проведение скрининга биологической эффективности и безопасности новых синтезированных химических соединений (кандидатов в лекарственные средства и БАДы). Основой создания фармацевтической разработки являются результаты исследования физико-химических и биологических свойств действующих веществ и готовых лекарственных средств.

Началом создания лекарственных средств является поиск биологически активного (действующего) вещества или смеси, комбинации веществ, предназначенных для использования в производстве, согласно его активным ингредиентам. В качестве тестируемых соединений могут выступать химические новосинтезированные соединения, у которых обнаружены и/или имеются желаемые свойства [1, С. 22–29]. Среди соединений с высокой биологической активностью и широким спектром фармакологической активности выделяются производные триазола. Так, на этапе поиска новых биологически активных молекул с применением логико-структурного подхода с помощью программы PASS выбран ряд триазолов, а в результате изучения 2 виртуальных структур производных 1,2,4-триазола сделан вывод, что базовым фарматопором является ядро 1,2,4-триазола [2, С. 58–69].

Действительно, в настоящее время в медицине триазолы находят широкое применение в качестве компонентов

лекарственных препаратов для лечения грибковых инфекций (флуконазол, итраконазол, терконазол), вирусных инфекций (рибавирин, Магаунос), психических расстройств (тразодон, нефазодон, альпразолам, триазолам), рака груди (летрозол, анастрозол), заболеваний сердечно-сосудистой системы (тиотриазолин, кардиотрил). Известны производные триазолов, проявляющие антибактериальную, аналептическую, местноанестезирующую, анальгезирующую, противовоспалительную, жаропонижающую, антигипертензивную, гепатопротекторную, кардиопротекторную, антиоксидантную, антиагрегантную и другие виды активности [3, С. 2518–2528].

Широкий спектр биологического действия и разноплановый характер производных триазола привлекает внимание ученых для дальнейшего направленного синтеза и модификации структуры триазола и создания новых лекарственных препаратов. К таковым относится бис(2-пиридил)-3-(1,2,4-триазол)пропан (БТП) – новосинтезированное производное триазола, биологические свойства которого не известны.

#### **Цель работы**

Установить реакции кардиореспираторной системы на введение БТП в различных дозах.

#### **Методы и принципы исследования**

Исследование проводилось на базе ЦКП научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» Таврической академии КФУ им. В.И. Вернадского.

Для эксперимента отбирали здоровых половозрелых самцов и самок лабораторных крыс массой 180-200 г линии Вистар («ФГУП «Питомник лабораторных животных «Рапполово»), прошедших карантин не менее 14 дней. Животных содержали в стандартных условиях вивария при температуре 18–22°C на подстилке «Рехофикс МК 2000» (на основе початков кукурузы) с естественным 12-часовым свето-темновым циклом, свободным доступом к воде (ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур») и полноценному гранулированному корму ГОСТ Р-50258-92.

Экспериментальные исследования проводились на 84 белых крысах (42 самца и 42 самки), характеризующихся средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью в тесте «открытого поля» которые составляют большинство в популяции, и поэтому у них развивается наиболее типичная реакция на действие различных факторов [4, С. 277–296], в том числе и тестируемых химических соединений. После предварительного отбора животных разделили на 6 групп по 14 особей в каждой, 7 из которых самцы, 7 – самки.

Первая группа являлась биологическим контролем (К); вторая – шестая группы животных – экспериментальные (Э), получавшие БТП внутрибрюшинно (объем 0,2 мл) в концентрациях 5, 50, 100, 150 и 200 мг/кг (Э-5, Э-50, Э-100, Э-150, Э-200 соответственно). Животным контрольной группы одновременно вводили физиологический раствор (NaCl, 0,9%) того же объема.

Химическая чистота БТП составляла не менее 98,0 %. Биоскрининг БТП проводился через 1 час после его внутрибрюшинного введения в указанных концентрациях, поскольку в данный период времени достигается максимальная концентрация триазола в крови. После этого у животных всех групп регистрировали показатели кардиореспираторной системы: частоту сердечных сокращений (ЧСС), частоту дыхания (ЧД), систолическое (САД) и диастолическое артериальное давление (ДАД), а также показатели микроциркуляции (Мц).

Подробная методика регистрации параметров АД, ЧСС, ЧД и Мц подробно описана в работе [5, С. 6–448], [6, С. 179–192].

Для статистической обработки были использованы данные трёх повторений эксперимента. Применялись непараметрические методы статистики, поскольку распределение значений переменных отличалось от нормального. Расчеты, статистическая обработка и графическое оформление полученных в работе данных по действия тестируемых соединений проводились с использованием программы Microsoft Excel и программного пакета StatSoft/STATISTICA 8. Достоверность статистических различий между контрольной (внутрибрюшинное введение физиологического раствора) и экспериментальными группами с различными дозами введения БТП (5, 50, 100, 150 и 200 мг/кг) определяли с помощью критерия Манна-Уитни.

#### **Основные результаты и обсуждение**

В предварительных исследованиях острой токсичности на животных после однократного введения установлено, что БТП можно отнести к соединению 3 класса опасности – умеренно токсичным веществам, о чем свидетельствует LD<sub>12</sub>, которая составила 50 мг/кг (в этой дозе наблюдалась первая смертность животных), LD<sub>50</sub> (доза, при которой погибало 50 % животных) – 250 мг/кг, а абсолютная летальная доза LD<sub>100</sub> составила 400 мг/кг.

В диапазоне доз от 5 до 200 мг/кг БТП было отмечено изменение исследуемых параметров у животных (см. табл. 1 и рис. 1). Установлено, что при использовании дозы БТП 5 мг/кг наблюдалась тенденция к снижению исследуемых параметров относительно таковых в контроле. В дозе 50 мг/кг наблюдалось снижение САД и ДАД на 10,7% ( $p \leq 0,05$ ) и 12,1% ( $p \leq 0,05$ ) соответственно относительно контроля. При увеличении концентрации БТП до 100 и 150 мг/кг происходило достоверное повышение АД относительно значений в контроле. Так, в дозе 100 мг/кг показатели САД и ДАД повышались на 7,5 % ( $p \leq 0,05$ ) и 21,8% ( $p \leq 0,05$ ), а при 150 мг/кг – на 0,6 % и 10,2 % ( $p \leq 0,05$ ) соответственно по сравнению с таковым в контрольной группе животных. Также в дозе 200 мг/кг наблюдалось достоверное повышение АД. Показатели САД в данной дозе превысили контрольные на 5,1 % ( $p \leq 0,05$ ), а ДАД – на 14,4 % ( $p \leq 0,05$ ), соответственно.

БТП в дозе 50 мг/кг оказывает наиболее выраженное действие на процессы регуляции микроциркуляции, что проявлялось в увеличении активности всех факторов регуляции микроциркуляции. Поскольку Аз синхронизированы с периодическим релизингом оксида азота (NO) эндотелием сосудов [7, С. 1–22], то повышение данного показателя свидетельствует об увеличении секреции NO эндотелием и, как следствие, развитии эндотелий-зависимой вазодилатации. Повышение амплитуд колебаний ЛДФ-граммы в нейрогенном диапазоне (Ан), которые связаны с симпатическими адренергическими влияниями на гладкие мышцы артериол и артериоларных участков артерио-веноулярных анастомозов [7, С. 1–22] отражает снижение периферического сопротивления в данных областях микрорусла, следствием чего является улучшение нутритивного кровотока. Увеличение амплитуд миогенных ритмов

(Ам) отражает снижение тонуса прекапиллярных сфинктеров и прекапиллярных метартериол [8, С. 31–55]. Поскольку известно, что ритмы данного диапазона обусловлены колебаниями концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  через мембраны мышечных клеток [9, С. 70–76], следовательно, повышение Ам свидетельствует о снижении тонуса прекапилляров вследствие развития  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимой мышечной релаксации под влиянием исследуемых веществ.

Таблица 1 – Показатели кардиореспираторной системы у крыс при действии бис(2-пиридил)-3-(1,2,4-триазаолил)пропана в разных концентрациях

Дозы (мг/кг) / группы	Показатели сердечно-сосудистой системы ( $M \pm m$ ) и % от контроля				
	САД	ДАД	ЧСС	ЧД	Пульсовое давление
контроль	145,56 $\pm$ 2,71 100%	101,13 $\pm$ 2,39 100%	355,87 $\pm$ 1,79 100%	80,72 $\pm$ 1,46 100%	49,93 $\pm$ 2,33 100%
Э-5	142,44 $\pm$ 1,35 97,8%	98,57 $\pm$ 0,97 97,4%	342,80 $\pm$ 5,73 96,3% $p \leq 0,05$	77,40 $\pm$ 1,75 95,9%	36,32 $\pm$ 1,30 72,2% $p \leq 0,05$
Э-50	133,67 $\pm$ 1,55 91,8% $p \leq 0,05$	88,89 $\pm$ 1,34 87,9% $p \leq 0,05$	340,93 $\pm$ 4,20 95,8% $p \leq 0,05$	80,65 $\pm$ 1,48 99,9%	31,78 $\pm$ 1,25 63,6% $p \leq 0,05$
Э-100	156,55 $\pm$ 2,45 107,5% $p \leq 0,05$	123,23 $\pm$ 2,40 121,8% $p \leq 0,05$	407,13 $\pm$ 8,57 114,4% $p \leq 0,05$	94,37 $\pm$ 2,71 116,9% $p \leq 0,05$	33,32 $\pm$ 1,01 66,7% $p \leq 0,05$
Э-150	146,5 $\pm$ 0,49 100,6%	111,48 $\pm$ 0,74 110,2% $p \leq 0,05$	366,08 $\pm$ 3,95 102,8% $p \leq 0,05$	93,56 $\pm$ 5,39 115,9% $p \leq 0,05$	35,02 $\pm$ 0,79 70,1% $p \leq 0,05$
Э-200	152,93 $\pm$ 3,72 105,1% $p \leq 0,05$	115,67 $\pm$ 4,14 114,4% $p \leq 0,05$	368,41 $\pm$ 4,70 103,5% $p \leq 0,05$	100,74 $\pm$ 3,76 124,8% $p \leq 0,05$	37,26 $\pm$ 1,59 74,6% $p \leq 0,05$

Примечание:  $M$  – среднее арифметическое значение,  $M \pm m$  – ошибка среднего,  $p$  – уровень достоверности различий по критерию Манна-Уитни относительно контроля; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ЧСС – частота сердечных сокращений; ЧД – частота дыхания;  $p \leq 0,05$  – достоверность отличий по сравнению с контролем

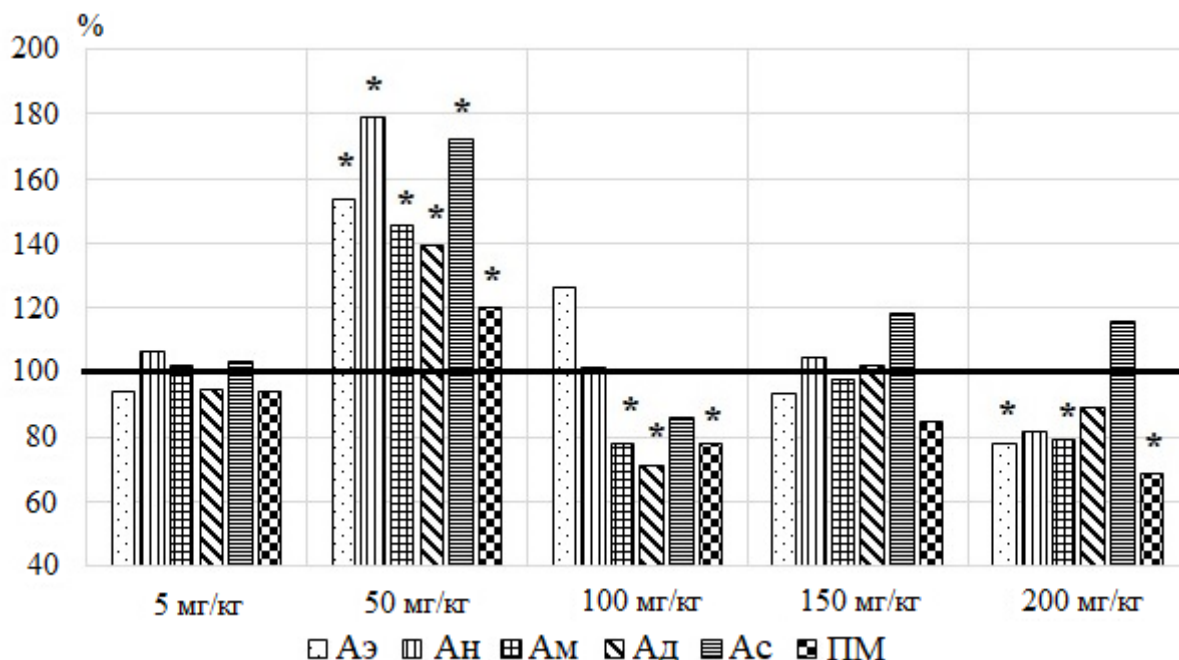


Рис. 1 – Показатели микроциркуляции при действии бис(2-пиридил)-3-(1,2,4-триазаолил)пропана в разных концентрациях (в % относительно значений показателей в контрольной группе животных):

Примечание: \* –  $p \leq 0,05$ ; \*\* –  $p \leq 0,01$  – достоверность отличий показателя по сравнению с контролем (принят за 100 % и отмечен горизонтальной линией)

БТП в дозе 50 мг/кг оказывает наиболее выраженное действие на процессы регуляции микроциркуляции, что проявлялось в увеличении активности всех факторов регуляции микроциркуляции. Поскольку Аз синхронизированы с периодическим релизингом оксида азота (NO) эндотелием сосудов [7, С. 1–22], то повышение данного показателя свидетельствует об увеличении секреции NO эндотелием и дальнейшем развитии эндотелий-зависимой вазодилатации. Повышение амплитуд колебаний ЛДФ-граммы в нейрогенном диапазоне (АН), которые связаны с симпатическими адренергическими влияниями на гладкие мышцы артериол и артериоларных участков артерио-

венулярных анастомозов [7, С. 1–22] отражает снижение периферического сопротивления в данных областях микрорусла, приводящего к улучшению нутритивного кровотока. Рост амплитуды миогенных ритмов (Ам) происходит из-за снижения тонуса прекапиллярных сфинктеров и прекапиллярных метартериол [8, С. 31–55]. Поскольку известно, что ритмы данного диапазона обусловлены колебаниями концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  через мембраны мышечных клеток [9, С. 70–76]. В данном уместно говорить о том, что повышение Ам свидетельствует о снижении тонуса прекапилляров вследствие развития  $\text{Ca}^{2+}$ -зависимой мышечной релаксации под влиянием БТП.

Данные изменения микрогемодинамики проявились в увеличении интегрального показателя микроциркуляции ПМ, что указывает на увеличение перфузии крови.

Таким образом, введение животным БТП в дозе 50 мг/кг приводит к увеличению эндотелий-зависимой вазодилатации, снижению периферического сопротивления, увеличению притока крови в нутритивное микрососудистое русло, улучшению веноулярного оттока. Повышение дозы до 100 и 200 мг/кг, наоборот, приводит к достоверному снижению перфузии тканей за счет повышения тонуса прекапилляров (в дозе 100 мг/кг) и уменьшения метаболической активности эндотелия и повышения активности симпатических адренергических вазомоторов.

БТП в дозе 50 мг/кг проявляет гипотензивное, вазорелаксирующее и отрицательное хронотропное действие. В дозе 100 мг/кг БТП, наоборот, проявляет гипертензивный, вазоконстрикторный и положительный хронотропный эффекты. Данные системные эффекты находят свое отражение на микроциркуляторном уровне: снижение АД сопровождается вазорелаксацией микрососудов, а повышение АД – вазоконстрикцией. Можно предположить, что одним из возможных механизмов действия и/или мишеней БТП являются сосуды микрорусла, изменение тонуса и, как следствие, их емкостных и резистивных свойств, определяет системное АД. Подобным действием обладает и фармацевтический препарат Тиотриазолин (морфолиний 3-метил-1,2,4-триазаолин-5-тиоацетат), для которого наряду с антиоксидантным и метаболитным эффектом показан эффект расширения коронарных сосудов и центральное влияние на активность нервных центров, регулирующих сосудистый тонус. Кроме того, показано, что Тиотриазолин снижает чувствительность миокарда к катехоламинам, предотвращает прогрессивное угнетение сократительной функции миокарда, улучшает метаболические процессы в миокарде, реологические свойства крови, нормализует сердечный ритм [10, С. 890–894].

#### Заключение

Обнаружено, что БТП в диапазоне доз от 5 до 200 мг/кг существенно изменяет показатели кардиореспираторной системы крыс:

1. В дозе 50 мг/кг он оказывает наиболее выраженное действие на процессы регуляции микроциркуляции, что проявлялось в увеличении активности всех факторов регуляции микроциркуляции. В данной дозе БТП приводит и к увеличению эндотелий-зависимой вазодилатации, снижению периферического сопротивления, увеличению притока крови в нутритивное микрососудистое русло, улучшению веноулярного оттока.
2. Повышение дозы БТП до 100 и 200 мг/кг, наоборот, приводит к достоверному снижению перфузии тканей за счет повышения тонуса прекапилляров (в дозе 100 мг/кг) и уменьшения метаболической активности эндотелия и повышения активности симпатических адренергических вазомоторов.
3. БТП в дозе 50 мг/кг проявляет гипотензивное, вазорелаксирующее и отрицательное хронотропное действие. В дозе 100 мг/кг БТП, наоборот, проявляет гипертензивный, вазоконстрикторный и положительный хронотропный эффекты.
4. Вероятно, что наличие в молекуле БТП и Тиотриазолина 1,2,4-триазаолина является определяющим для появления кардио- и вазотропных свойств, в частности, способности напрямую влиять на тонус как микро-, так и макрососудов, а также на сократительную функцию миокарда.

#### Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта No 18-13-00024.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Funding

The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of the scientific project No. 18-13-00024.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Almasirad A. Synthesis, analgesic and anti-inflammatory activities of new methyl-imidazolyl-1,3,4-oxadiazoles and 1,2,4-triazoles / A. Almasirad, Z. Mousavi, M. Tajik // Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2014. – V. 22, No 22. – P. 22–29. doi: 10.1186/2008-2231-22-22
2. Георгиевский Г. В. Разработка комплекса физико-химических методик, обеспечивающих создание и контроль качества оригинальных отечественных препаратов, производных 1,2,4-триазола / Г. В. Георгиевский // Запорожский медицинский журнал. – 2011. – Т. 13, № 1. – С. 58–69.
3. Sarigol D. Novel thiazolo[3,2-b]-1,2,4-triazoles derived from naproxen with analgesic/anti-inflammatory properties: Synthesis, biological evaluation and molecular modeling studies / D. Sarigol, A. Uzgoren-Baran, B. C. Tel [et al.]. // Bioorg. Med. Chem. – 2015. – V. 23, No 10. – P. 2518–2528. doi: 10.1016/j.bmc.2015.03.049
4. Thakur A. 1,2,4-Triazole Scaffolds: Recent Advances and Pharmacological Applications / A. Thakur, P. S. Gupta, P. K. Shukla // Int. J. Curr. Res. Aca. Rev. – 2016. – V. 4, No 2. – P. 277–296. doi: 10.2174/18715249156661502091005335.
5. Чуян Е. Н. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ / Е. Н. Чуян, Н. А. Темуриянц, О. Б. Московчук. – Симферополь: Эльиньо, 2003. – 448 с.
6. Чуян Е. Н. Показатели кардиореспираторной системы крыс при действии 1-гидроксиэтан-1,1-дифосфоновой кислоты / Е. Н. Чуян, М. Ю. Раваева, А. И. Придатко [и др.]. // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71), № 1. – С. 179–192.

7. Козлов В. И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии: пособие для врачей / В. И. Козлов, Э. С. Мач, Ф. Б. Литвин и др. – М., 2001. – 22 с.
8. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system / A. Stefanovska, M. Bracic // Contemporary Physics. – 1999. – V. 40, № 1. – P. 31–55. doi:10.1080/001075199181693
9. Крупаткин А. И. Пульсовые и дыхательные осцилляции кровотока в микроциркуляторном русле кожи / А. И. Крупаткин // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, № 3. – С. 70–76.
10. Топчий Н. В. Возможности применения Тиотриазолина в качестве средства метаболической терапии / Н. В. Топчий, А. С. Топорков // Российский медицинский журнал. – 2015. – № 15. – С. 890–894.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Almasirad A. Synthesis, analgesic and anti-inflammatory activities of new methyl-imidazolyl-1,3,4-oxadiazoles and 1,2,4-triazoles / A. Almasirad, Z. Mousavi, M. Tajik // Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2014. – V. 22, No 22. – P. 22–29. doi: 10.1186/2008-2231-22-22
2. Georgievskij G. V. Razrabotka kompleksa fiziko-himicheskikh metodik, obespechivayushchih sozdanie i kontrol' kachestva original'nyh otechestvennyh preparatov, proizvodnyh 1,2,4-triazola [Development of a complex of physical and chemical techniques to ensure the creation and quality control of original domestic drugs derived from 1,2,4-triazole] / G. V. Georgievskij // Zaporozhskij medicinskij zhurnal [Zaporozhye medical journal]. – 2011. – Vol.13, № 1. – P. 58–69. [in Russian].
3. Sarigol D. Novel thiazolo[3,2-b]-1,2,4-triazoles derived from naproxen with analgesic/anti-inflammatory properties: Synthesis, biological evaluation and molecular modeling studies / D. Sarigol, A. Uzgoren-Baran, B. C. // Bioorg. Med. Chem. – 2015. – V. 23, No 10. – P. 2518–2528. doi: 10.1016/j.bmc.2015.03.049
4. Thakur A. 1,2,4-Triazole Scaffolds: Recent Advances and Pharmacological Applications / A. Thakur, P. S. Gupta, P. K. Shukla // Int. J. Curr. Res. Aca. Rev. – 2016. – V. 4, No 2. – P. 277–296. doi: 10.2174/1871524915666150209100533
5. Chuyan E. N. Fiziologicheskie mekhanizmy biologicheskikh effektov nizkointensivnogo EMI KVCH [Physiological mechanisms of biological effects of low-intensity EMR EHF] / E. N. Chuyan, N. A. Temur'yanc, O. B. Moskovchuk. – Simferopol: El'in'o, 2003. – 448 p. [in Russian]
6. Chuyan E. N. Pokazатели kardiorespiratornoj sistemy krys pri dejstvii 1-gidroksietan-1,1-difosfonovoj kisloty [The indicators of the cardiorespiratory system of rats under the action of 1-hydroxyethane-1,1-diphosphonic acid] / E. N. Chuyan, M. Yu. Ravaeva, A. I. Pridatko. // Uchyonye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo Biologiya. Himiya. [Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry] – 2019. – Vol. 5 (71), № 1. – P. 179–192. [in Russian]
7. Kozlov V. I. Metod lazernoj dopplerovskoj floumetrii: posobie dlya vrachej [Laser Doppler flowmetry method: a manual for doctors] / V. I. Kozlov, E. S. Mach, F. B. Litvin. – M., 2001. – 22 p. [in Russian]
8. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system / A. Stefanovska, M. Bracic // Contemporary Physics. – 1999. – V. 40, № 1. – P. 31–55. doi:10.1080/001075199181693
9. Krupatkin A. I. Pul'sovye i dyhatel'nye oscillyacii krovotoka v mikrociirkulyatornom rusle kozhi [Pulse and respiratory oscillations of blood flow in the microcirculatory bed of the skin] / A. I. Krupatkin // Fiziologiya cheloveka [Human Physiology]. – 2008. – V. 34, № 3. – P. 70–76. [in Russian]
10. Topchij N. V. Vozmozhnosti primeneniya Tiotriazolina v kachestve sredstva metabolicheskoy terapii [The possibility of using Thiotriazoline as a means of metabolic therapy] / N. V. Topchij, A. S. Toporkov // Rossijskij medicinskij zhurnal. – 2015. – № 15. – P. 890–894. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.020>**ВЛИЯНИЕ 1-ГИДРОКСИ-1,1-ЭТИЛИДЕНДИФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ПОВЕДЕНИЕ САМОК КРЫС В ТЕСТАХ «ОТКРЫТОЕ ПОЛЕ» И «ПРИПОДНЯТЫЙ КРЕСТООБРАЗНЫЙ ЛАБИРИНТ»**

Научная статья

**Черетаев И.В.<sup>1,\*</sup>, Чуян Е.Н.<sup>2</sup>, Раваева М.Ю.<sup>3</sup>, Шульгин В.Ф.<sup>4</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1852-4323;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6240-2732;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-9629-9726;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-1750-3697;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Симферополь, Россия

\* Корреспондирующий автор (5612178[at]ukr.net)

**Аннотация**

В статье изложены данные изучения влияния 1-гидрокси-1,1-этилидендифосфоновой кислоты в широком диапазоне доз (от 5 до 200 мг/кг) на поведение самок крыс в тестах «открытое поле» и «приподнятый крестообразный лабиринт». Опыты проведены на 60 крысах-самках линии Вистар. Показано, что изучаемая кислота в тесте «открытое поле» в дозе 150 мг/кг угнетает локомоторную активность и поисково-исследовательское поведение испытуемых животных, что указывает на седативный и анксиогенный эффект этой дозы кислоты. Эти эффекты отражались в достоверном снижении относительно контроля общего пройденного расстояния на 49,06 % ( $p \leq 0.001$ ,  $n=10$ ) и исследовательской активности норок на 51,85 % ( $p \leq 0.05$ ,  $n=10$ ). В тесте «приподнятый крестообразный лабиринт» показан слабый анксиогенный эффект 1-гидрокси-1,1-этилидендифосфоновой кислоты в дозе 150 мг/кг, проявлявшийся лишь в достоверном снижении относительно контроля времени выхода крыс в центр лабиринта на 79,35 % ( $p \leq 0.05$ ,  $n=10$ ).

**Ключевые слова:** 1-гидрокси-1,1-этилидендифосфоновая кислота, крысы, поведение, тревожность, животные-самки.

**INFLUENCE OF 1-HYDROXY-1.1-ETHYLIDE DIPHOSPHONIC ACID ON THE BEHAVIOR OF RAT FEMALES IN “OPEN FIELD” AND “ELIMINATED PLUS MAZE” TESTS**

Research article

**Cheretaev I.V.<sup>1,\*</sup>, Chuyan E.N.<sup>2</sup>, Ravaeva M.Yu.<sup>3</sup>, Shulgin V.F.<sup>4</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1852-4323;<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6240-2732;<sup>3</sup> ORCID: 0000-0001-9629-9726;<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-1750-3697;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Tauride Academy (Structural Unit) of FSAEI of HE V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

\* Corresponding author (5612178[at]ukr.net)

**Abstract**

The article presents data on the study of the effect of 1-hydroxy-1.1-ethylidene diphosphonic acid in a wide range of doses (from 5 to 200 mg/kg) on the behavior of female rats in the open field and elevated plus maze tests. The experiments were performed on 60 female Wistar rats. The results show that studied acid in the open field test at a dose of 150 mg/kg inhibits the locomotor activity, search and research behavior of the test animals, which indicates a sedative and anxiogenic effect of this dose of acid. These effects were reflected in a significant decrease relative to the control of the total distance by 49.06% ( $p \leq 0.001$ ,  $n = 10$ ) and the research activity of minks by 51.85% ( $p \leq 0.05$ ,  $n=10$ ). The “elevated plus maze” test showed a weak anxiogenic effect of 1-hydroxy-1.1-ethylidene diphosphonic acid at a dose of 150 mg/kg, which manifested itself only in a significant decrease relative to the control of the exit time of rats to the centre of the labyrinth by 79.35% ( $p \leq 0.05$ ,  $n=10$ ).

**Keywords:** 1-hydroxy-1.1-ethylidene diphosphonic acid, rats, behavior, anxiety, female animals.

**Введение**

По данным обзорных исследований [1, С. 168–176], [2, С. 83–88], [3, С. 5–13], тревожные и тревожно-депрессивные аффективные расстройства поведения являются глобальной проблемой всего человечества. Распространены эти расстройства и на территории России и, в частности, Республики Крым, [4, С. 80–81]. В связи с этим, проведение биоскрининга различных химических биологически активных веществ на наличие противотревожной (анксиолитической) активности с использованием поведенческих моделей на животных актуально для прикладной фармакологии и медицины.

На настоящий момент для проведения таких биоскрининговых исследований перспективны бисфосфонаты. Так, 1-гидроксиэтилиден-1,1-дифосфоновая кислота (ГДК) существенно влияет на обмен кальция и аденозинтрифосфата (АТФ) в клетке [5, С. 1255–1262]. Как известно, кальций и АТФ – основные вторичные мессенджеры в клетках нервной ткани [6, С. 1–11], [7, С. 1261–1296], [8, С. 326–336], поэтому колебания их уровня способны значительно повлиять на функционирование ЦНС и обусловленные активностью её нейромедиаторных систем поведенческие реакции и психоэмоциональный статус организма. В отношении ГДК нами ранее было показано, что она в определённых дозах обладает противоболевой активностью, повышая у самцов и самок крыс пороги температурной и механической болевой чувствительности [9, С. 162–175], [10, С. 92–97].



Несмотря на сказанное выше, непосредственные данные о влиянии ГДК на тревожное поведение отсутствуют.

**Цель работы** – изучить влияние ГДК на поведение самок крыс в тестах «открытое поле» (ОП) и «приподнятый крестообразный лабиринт» (ПКЛ).

#### Методы и принципы исследования

Перед началом в тесте ОП были выбраны 60 лабораторных самок крыс линии Вистар весом 180-200 г со средним показателями поведения по результатам данного теста, что позволяло достичь однородности поведенческих показателей в исследуемой выборке крыс.

Экспериментальные самки находились в условиях содержания, аналогичных представленным в публикациях [9, С. 162–175], [10, С. 92–97]. Научные исследования были выполнены согласно требованиям ГОСТ Р-53434-2009 и Директивой ЕС 2010/63/EU от 22.09.2010 г. Опыты были проведены на базе ЦКП научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» Таврической академии КФУ им. В. И. Вернадского.

В эксперименте с БТП участвовало 60 самок крыс («ФГУП «Питомник лабораторных животных «Рапполово»), разделенных на 6 групп по 10 самок. Перед проведением эксперимента у самок была достигнута синхронизация фаз эстрального цикла. Самкам контрольной группы делали однократные внутривбрюшинные инъекции 0,2 мл 0,9%-ного раствора хлорида натрия, они содержались в стандартных условиях (согласно ГОСТ Р-53434-2009), остальные 5 экспериментальных групп получали по 0,2 мл однократных внутривбрюшинных инъекций БТП в одной из исследуемых доз (5, 50, 100, 150 и 200 мг/кг соответственно). Тестирование поведенческих показателей у животных проводили через 1 час после инъекций в тестах ОП и ПКЛ, использующихся согласно [11, С. 264–275] в исследованиях по изучению транквилизирующего (анксиолитического) действия веществ. Постоянство освещения опытных установок контролировали с помощью люксметра Testo 540 (ФРГ), интенсивность освещения составляла  $250 \pm 15$  Лк. Установки тестов изнутри протирали мокрыми и сухими салфетками после каждого животного.

В тесте ОП проводили тестирование общей двигательной и ориентировочно-исследовательской активности крыс в установке IR Actimeter (Pan Lab Harvard Apparatus, Испания) – установке размером 45 x 45 см с прозрачными полипропиленовыми стенками высотой 20 см с двумя инфракрасными рамками, выполняющих роль датчиков движений. Принцип теста заключался в количественном измерении компонентов поведения животного, помещенного в неизвестное открытое пространство и испытывающего с одной стороны страх перед неизвестностью, а с другой – стремление исследовать новую обстановку [11, С. 267–268], [12, С. 12–16], [13, С. 68–77]. Регистрацию и анализ данных теста проводили с помощью программного обеспечения Actitrack 2.0 (Pan Lab Harvard Apparatus, Испания). Видеорегистрацию поведенческих реакций животного осуществляли с помощью цифровой видеосистемы с переносным штативом VS1304-P (НПК Открытая Наука, Россия). Регистрировали такие показатели поведенческой активности крыс, как горизонтальная двигательная активность, которая представляла собой общее пройденное расстояние (в см) внутри поля; вертикальная двигательная активность (ВДА), общее количество актов исследовательской активности (ИА); общее количество актов груминга; количество актов дефекации и уриаций (показатели уровня эмоциональности животного). Продолжительность теста составляла 3 мин, в течение которых регистрировали с помощью актиметра IR Actimeter и видеокамеры VS1304-P поведенческие характеристики.

Тест ПКЛ (НПК Открытая Наука, Россия) представлял собой крестообразную установку, пол и стенки которой сконструированы из жесткого поливинилхлорида серого цвета. Ширина рукавов 14 см при длине 50 см, высота стенок в закрытых рукавах составляла 30 см, а высота борта открытых рукавов – 1 см. В месте пересечения рукавов располагалась центральная площадка 14 x 14 см. Торцевые стенки на концах закрытых рукавов отсутствовали. Лабиринт располагался на высоте 55 см над уровнем пола на тележке со стопорами, выполненной из крашеного алюминия и стальных труб. Продолжительность теста составляла 3 мин. С помощью видеокамеры VS1304-P регистрировали такие характеристики локомоторного и ориентировочно-исследовательского поведения грызунов: время, проведенное в открытых, закрытых рукавах и центре лабиринта (эти показатели отражают исследовательское и тревожное поведение у грызунов), вертикальную двигательную активность (ВДА), количество заглядываний вниз с краёв открытых рукавов [11, С. 266–267], [14, С. 322–328], [15, С. 129–130].

Данные представлены в виде медианы и межквартильного диапазона (25 и 75 %), их статистический анализ и графическое представление выполнены в программном пакете Graph Pad Prism 7.0. Достоверность различий между группами определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с апостериорным тестом Тьюки и непараметрическим критерием множественных сравнений Данна [11, С. 903-906].

#### Основные результаты и обсуждение

Результаты проведенного анализа влияния ГДК на поведение самок крыс в тесте ОП представлены на рис. 1.

Показано, что ГДК в тесте ОП в исследуемом широком диапазоне доз от 5 до 200 мг/кг в дозе 150 мг/кг приводила к достоверному снижению общего пройденного расстояния (см. рис. 1, а) на 49,06 % ( $p \leq 0.001$ ,  $n=10$ ), то есть угнеталась локомоторная активность испытуемых животных. Также в данном тесте обнаружено угнетающее действие ГДК у самок крыс в дозе 150 мг/кг (см. рис. 1, б) на ИА (показатель характеризует исследовательское, норковое поведение грызунов [11, С. 267]) на 51,85 % ( $p \leq 0.05$ ,  $n=10$ ) относительно контроля. Эти данные согласно официальному экспериментальному протоколу теста [11, С. 267–268] свидетельствуют о седативном и анксиогенном эффекте данного вещества в указанной дозе. Остальные показатели теста – ВДА, общее количество актов груминга, количество актов дефекации и уриаций ни в одной из исследуемых доз ГДК достоверно не отличались от контроля, на рис. 1 они не показаны.

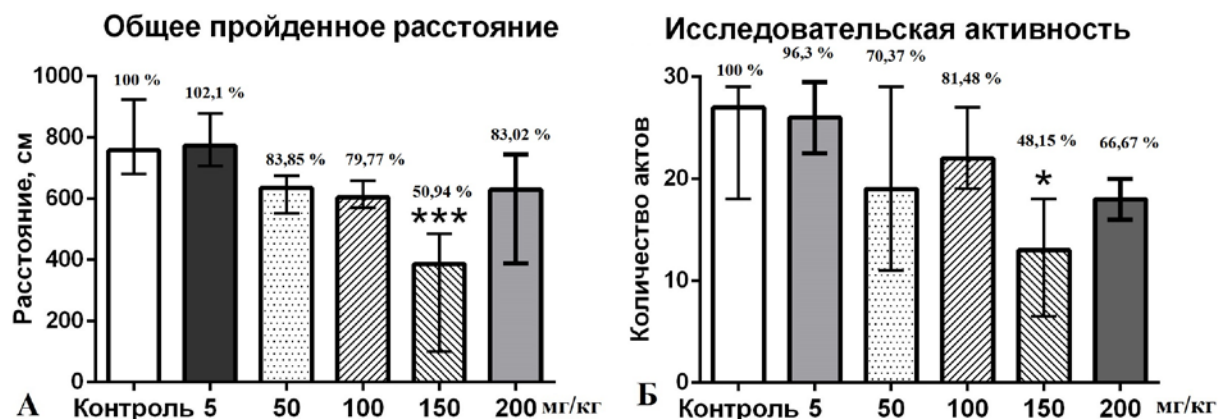


Рис. 1 – Влияние 1-гидрокси-1,1-этилендифосфоновой кислоты на поведение самок крыс в тесте «открытое поле»:

а – общее пройденное расстояние,

б – исследовательская активность;

Примечание: \* –  $p \leq 0.05$ ; \*\*\* –  $p \leq 0.001$  – достоверность отличий показателя по сравнению с контролем (значение медианы контроля принято за 100 %)

В более аверсивном тесте ПКЛ (см. рис. 2), был показан слабый анксиогенный эффект ГДК только в дозе 150 мг/кг. В данном тесте у самок крыс достоверно снижалось относительно контроля только время выхода в центр лабиринта на 79,35 % ( $p \leq 0.05$ ,  $n=10$ , см. рис. 2, в), что и свидетельствует согласно [11, С. 266–267], [14, С. 322–328] об увеличении тревожности животных и наличии некоторого анксиогенного эффекта ГДК. При этом остальные основные (время, проведенное в открытых и закрытых рукавах лабиринта) и косвенные показатели (ВДА, количество заглядываний вниз) теста достоверно не изменялись, поэтому можно говорить лишь о слабом анксиогенном эффекте ГДК в дозе 150 мг/кг. Тем не менее, данные тестов ОП и ПКЛ согласуются между собой, указывая на угнетающее действие ГДК именно в дозе 150 мг/кг на двигательную активность и ориентировочно-исследовательское поведение самок крыс.

В целом, данные тестов ОП и ПКЛ согласуются между собой, указывая на угнетающее действие ГДК на поведение самок крыс в дозе 150 мг/кг.

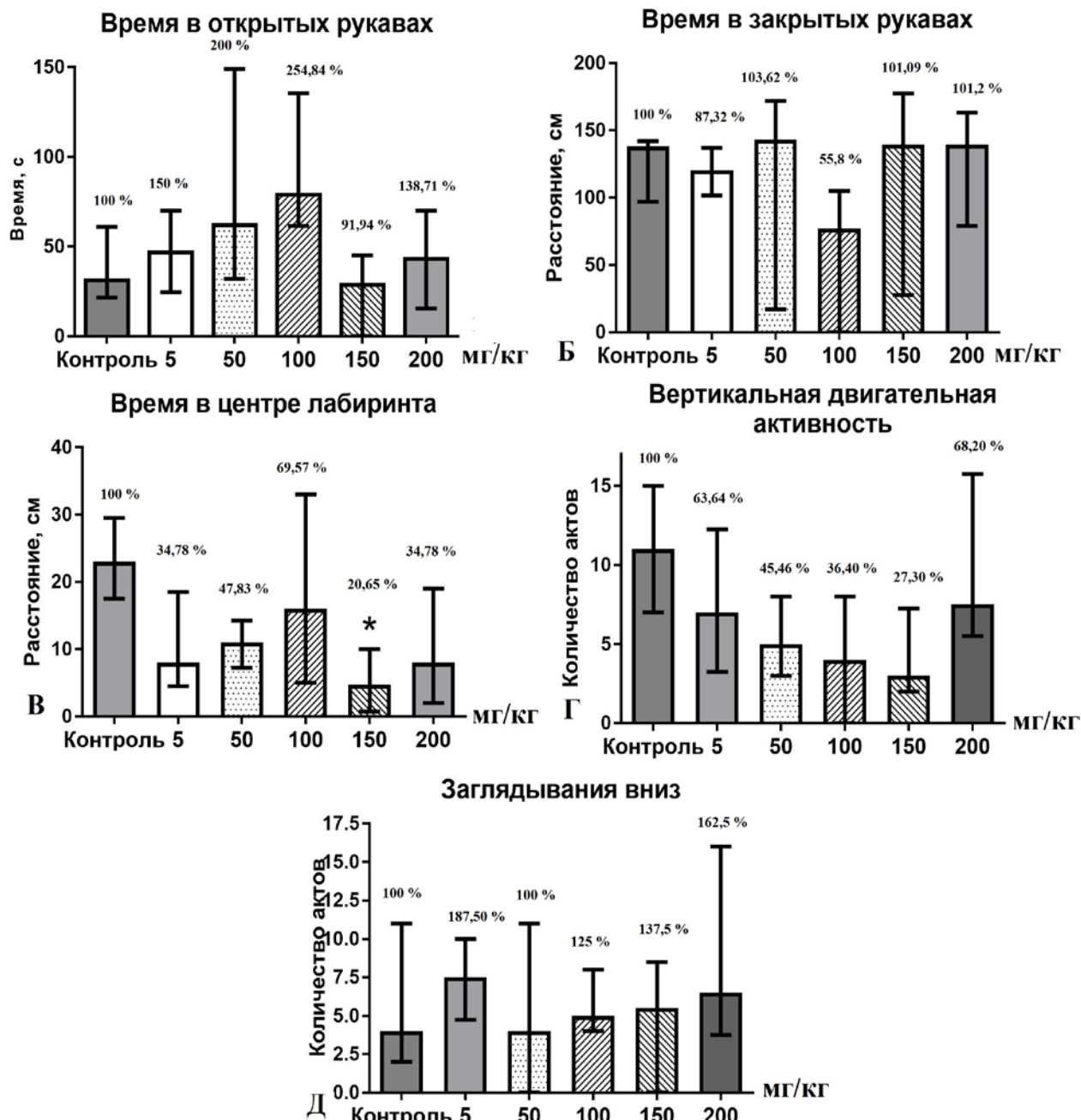


Рис. 2 – Влияние 1-гидрокси-1,1-этилендифосфоновой кислоты на поведение самок крыс в тесте «приподнятый крестообразный лабиринт»:

*a* – время, проведённое в открытых рукавах,

*б* – время, проведённое в закрытых рукавах,

*в* – время, проведённое в центре лабиринта,

*г* – вертикальная двигательная активность,

*д* – количество заглядываний вниз с краёв открытых рукавов;

Примечание: \* –  $p \leq 0.05$ ; – достоверность отличий показателя по сравнению с контролем (значение медианы контроля принято за 100 %)

Таким образом, седативный и слабый анксиогенный эффект ГДК у самок крыс проявляется только в дозе 150 мг/кг. Можно сказать, что данное соединение является относительно безопасным, и только в высокой дозе может существенно изменять психоэмоциональный статус организма крыс, увеличивая тревожность самок крыс и снижая их локомоторную активность. С учётом коэффициента пересчёта доз (в мг/кг) с животных на человека [11, С. 22], учитывающего соотношение между массой и площадью поверхности тела человека и лабораторных крыс, ГДК можно рекомендовать для дальнейших клинических испытаний и применения у женщин при однократном использовании в дозах ниже 885 мг/кг без риска выраженных побочных эффектов в отношении базового уровня тревожности. Предварительные исследования анальгетического эффекта ГДК позволяют рекомендовать её для однократного применения в ещё более низких дозах [10, С. 92–97].

#### Заключение

Обнаружено, что ГДК в протестированном диапазоне доз от 5 до 200 мг/кг обладает угнетающим действием на двигательную активность и ориентировочно-исследовательское поведение самок крыс только в дозе 150 мг/кг:

1. В тесте ОП ГДК в дозе 150 мг/кг угнетает локомоторную активность, поисково-исследовательское поведение испытуемых животных, достоверно снижая относительно контроля общее пройденное расстояние на 49,06 % ( $p \leq 0.001$ ,  $n=10$ ) и ИА на 51,85 % ( $p \leq 0.05$ ,  $n=10$ ). Эти результаты указывают на седативный и анксиогенный эффект ГДК в дозе 150 мг/кг.

2. В тесте ПКЛ показан слабый анксиогенный эффект ГДК в дозе 150 мг/кг, проявлявшийся лишь в достоверном снижении относительно контроля времени выхода крыс в центр лабиринта на 79,35 % ( $p \leq 0.05$ ,  $n=10$ ).

#### Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта No 18-13-00024.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Funding

The study was carried out within the financial support of the Russian Science Foundation as part of the scientific project No. 18-13-00024.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

- Kessler R. C. Lifetime prevalence and age-on-set distributions of mental disorders in the World Health Organisation's World Mental Health Survey Initiative / R. C. Kessler, M. Angermeyer, J. C. Anthony and others // *World Psychiatry*. – 2007. – V. 6. – P. 168–176.
- Федотова А. В. Тревожно-депрессивные расстройства в общей клинической практике / А. В. Федотова // *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. – 2008. – № 3. – С. 83–88.
- Марута Н. А. Тревожная депрессия (клинико-психопатологическая и патопсихологическая характеристика) / Н. А. Марута, Т. В. Панько, Г. Ю. Каленская [и др.]. // *Таврический журнал психиатрии*. – 2014. – Т. 18, № 2 (67). – С. 5–13.
- Строевский В. В. Профилактика суицидов у пациентов с аффективными расстройствами в АР Крым / В. В. Строевский // *Таврический журнал психиатрии*. – 2014. – Т. 18, № 2 (67). – С. 80–81.
- Lehenkari P. P. Further insight into mechanism of action of clodronate: inhibition of mitochondrial ADP/ATP translocase by a nonhydrolyzable, adenine-containing metabolite / P. P. Lehenkari, M. Kellinsalmi, J. P. Näpänkangas and others. // *Mol. Pharm.* – 2002. – V. 61, No 5. – P. 1255–1262. doi: 10.1124/mol.61.5.1255
- Kugelgen I. Pharmacology of mammalian P2X and P2Y-receptors / I. Kugelgen // *Biotrend Reviews*. – 2008. – № 3. – P. 1–11.
- Berridge M. G. The Inositol Trisphosphate/Calcium Signaling Pathway in Health and Disease / M. G. Berridge // *Physiol. Rev.* – 2016. – V. 96, No 4. – P. 1261–1296. doi: 10.1152/physrev.00006.2016
- Черетаев И. В. АТФ-зависимые и кальциевые механизмы влияния салицилатов на электрические потенциалы нейронов моллюска *Helix Albescens* // И. В. Черетаев, И. И. Коренюк, Д. Р. Хусаинов и др. // *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*. – 2015. – Т. 101, № 3. – С. 326–336.
- Черетаев И. В. Влияние 1-гидрокси-1,1-этилидендифосфоновой кислоты, бис(2-пиридил-1,2,4-триазилил-3)пропана и их аддукта на болевую чувствительность самцов крыс (часть 1) / И. В. Черетаев, М. Ю. Раваева, Э. Р. Джелдубаева [и др.]. // *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология, химия*. – 2019. – Т. 5 (71), № 2. – С. 162–175.
- Черетаев И. В. Влияние 1-гидрокси-1,1-этилидендифосфоновой кислоты и бис(2-пиридил-1,2,4-триазилил-3)пропана на болевую чувствительность самок крыс / И. В. Черетаев, Е. Н. Чуян, М. Ю. Раваева и др. // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2019. – № 7 (85), Ч. 1. – С. 92–97. doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.85.7.018>
- Миронов А. Н. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / А. Н. Миронов, Н. Д. Бунатян, А. Н. Васильев и др. – Ч. 1. – М.: Гриф и К, 2012. – 944 с.
- Вдовина Н. В. Исследование особенностей поведения здоровых крыс разного возраста и крыс-опухоленосителей в «открытом поле» / Н. В. Вдовина, Е. С. Клишова, Т. Г. Щербатюк // *Современные технологии в медицине*. – 2010. – № 2. – С. 12–16.
- Митрошина Е. В. Адаптационная роль глиального нейротрофического фактора при ишемии головного мозга / Е. В. Митрошина, Б. Ж. Абогессименгане, М. Д. Уразов и др. // *Современные технологии в медицине*. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 68–77. doi: 10.17691/stm2017.9.1.08
- Walf A. A. The use of the elevated plus maze as an assay of anxiety-related behavior in rodents / A. A. Walf, C. A. Frye // *Nature Protocols*. – 2007. – V. 2, No 2. – P. 322–328. doi: 10.1038/nprot.2007.44
- Sestakova N. Determination of motor activity and anxiety-related behaviour in rodents: methodological aspects and role of nitric oxide / N. Sestakova, A. Puzserova, M. Kluknavsky [et al.]. // *Interdiscip. Toxicol.* – 2013. – V. 6 (3). – P. 126–135. doi: 10.2478/intox-2013-0020

#### Список литературы на английском языке / References in English

- Kessler R. C. Lifetime prevalence and age-on-set distributions of mental disorders in the World Health Organisation's World Mental Health Survey Initiative / R. C. Kessler, M. Angermeyer, J. C. Anthony and others // *World Psychiatry*. – 2007. – V. 6. – P. 168–176.
- Fedotova A. V. Trevozhno-depressivnye rasstrojstva v obshcheklinicheskoy praktike [Anxiety-Depressive Disorders in General Clinical Practice] / A. V. Fedotova // *Racional'naya farmakoterapiya v kardiologii* [Rational pharmacotherapy in cardiology]. – 2008. – № 3. – P. 83–88. [in Russian]
- Maruta N. A. Trevozhnaya depressiya (kliniko-psihopatologicheskaya i patopsihologicheskaya harakteristika) [Anxiety depression (clinical – psychopathological and pathopsychological characteristics)] /

- N. A. Maruta, T. V. Pan'ko, G. Yu. Kalenskaya and others. // *Tavricheskij zhurnal psikiatrii* [Taurida Journal of Psychiatry]. – 2014. – V. 18, № 2 (67). – P. 5–13. [in Russian]
4. Stroeviskij V. V. Profilaktika suicidov u pacientov s affektivnymi rasstrojstvami v AR Krym [Suicide Prevention in Patients with Affective Disorders in AR Crimea] / V. V. Stroeviskij // *Tavricheskij zhurnal psikiatrii* [Taurida Journal of Psychiatry]. – 2014. – V. 18, № 2 (67). – P. 80–81. [in Russian]
5. Lehenkari P. P. Further insight into mechanism of action of clodronate: inhibition of mitochondrial ADP/ATP translocase by a nonhydrolyzable, adenine-containing metabolite / P. P. Lehenkari, M. Kellinsalmi, J. P. Näpänkangas [et al.]. // *Mol. Pharm.* – 2002. – V. 61, No 5. – P. 1255–1262. doi: 10.1124/mol.61.5.1255
6. Kugelgen I. Pharmacology of mammalian P2X and P2Y-receptors / I. Kugelgen // *Biotrend Reviews*. – 2008. – № 3. – P. 1–11.
7. Berridge M. G. The Inositol Trisphosphate/Calcium Signaling Pathway in Health and Disease / M. G. Berridge // *Physiol. Rev.* – 2016. – V. 96, No 4. – P. 1261–1296. doi: 10.1152/physrev.00006.2016
8. Cheretaev I. V. ATF-zavisimye i kal'cievye mekhanizmy vliyaniya salicilatov na elektricheskie potencially neyronov mollyuska *Helix Albescens* [ATP-dependent and calcium mechanisms of the influence of salicylates on the electrical potentials of mollusk neurons *Helix Albescens*] // I. V. Cheretaev, I. I. Korenyuk, D. R. Husainov and others // *Rossijskij fiziologicheskij zhurnal im. I. M. Sechenova* [Russian physiological journal I. M. Sechenova]. – 2015. – V. 101, № 3. – P. 326–336. [in Russian]
9. Cheretaev I. V. Vliyanie 1-gidroksi-1,1-etilidendifosfonovoj kisloty, bis(2-piridil-1,2,4-triazolil-3)propana i ih addukta na bolevuyu chuvstvitel'nost' samcov krysa (chast 1) [The effect of 1-hydroxy-1,1-ethylidene diphosphonic acid, bis (2-pyridyl-1,2,4-triazolyl-3) propane and their adduct on the pain sensitivity of male rats (part 1)] / I. V. Cheretaev, M. Yu. Ravaeva, E. R. Dzheldubaeva and others. // *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya, himiya*. [Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Biology, Chemistry.]. – 2019. – V. 5 (71), № 2. – P. 162–175.
10. Cheretaev I. V. Vliyanie 1-gidroksi-1,1-etiliden-difosfonovoj kisloty i bis(2-piridil-1,2,4-triazolil-3)propana na bolevuyu chuvstvitel'nost' samok krysa [The effect of 1-hydroxy-1,1-ethylidene diphosphonic acid and bis(2-pyridyl-1,2,4-triazolyl-3)propane on pain sensitivity of female rats] / I. V. Cheretaev, E. N. Chuyan, M. Yu. Ravaeva and others // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International Research Journal]. – 2019. – № 7 (85), Ch. 1. – P. 92–97. doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.85.7.018> [in Russian]
11. Mironov A. N. Rukovodstvo po provedeniju doklinicheskikh issledovanij lekarstvennykh sredstv [Guidelines for pre-clinical trials of medicines] / A. N. Mironov, N. D. Bunatjan, A. N. Vasil'ev and others – Ch. 1. – M. : Grif i K, 2012. – 944 p. [In Russian]
12. Vdovina N. V. Study of behavioral patterns of healthy rats of different ages and tumor-bearing rats in an “open field” [The study of the behavior of healthy rats of different ages and rat-tumor carriers in the “open field”] / N. V. Vdovina, E. S. Klintsova, T. G. Shcherbatyuk // *Sovremennye tekhnologii v medicine* [Modern technologies in medicine]. – 2010. – No. 2. – P. 12–16. [in Russian]
13. Mitroshina E. V. Adaptacionnaya rol' glial'nogo nejrotroficheskogo faktora pri ishemii golovnogo mozga [Adaptive role of glial neurotrophic factor in cerebral ischemia] / E. V. Mitroshina, B. Zh. Abogessimengane, M. D. Urazov and others // *Sovremennye tekhnologii v medicine* [Modern technologies in medicine]. – 2017. – V. 9, № 1. – P. 68–77. doi: 10.17691/stm2017.9.1.08 [in Russian]
14. Walf A. A. The use of the elevated plus maze as an assay of anxiety-related behavior in rodents / A. A. Walf, C. A. Frye // *Nature Protocols*. – 2007. – V. 2, No 2. – P. 322–328. doi:10.1038/nprot.2007.44
15. Sestakova N. Determination of motor activity and anxiety-related behaviour in rodents: methodological aspects and role of nitric oxide / N. Sestakova, A. Puzserova, M. Kluknavsky and others // *Interdiscip. Toxicol.* – 2013. – V. 6 (3). – P. 126–135. doi: 10.2478/intox-2013-0020

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.021>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ДОЛАБОРАТОРНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ВАГИНИТЕ**

Научная статья

**Дробязко П.А. \***

ORCID: 0000-0001-8116-8611,

ГКБ им. М.П. Кончаловского Департамент Здравоохранения г. Москвы, Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (drobyazko.peter[at]gmail.com)

**Аннотация**

Сравнительное исследование выраженности воспалительного процесса у женщин с хроническим вагинитом относительно жалоб пациенток и визуальных проявлений хронического вагинита, как основных методов долабораторной диагностики. Результаты анкетирования пациенток с хроническим воспалительным процессом в нижних репродуктивных путях. Сравнительная оценка уровня лейкоцитов при микроскопии мазка и визуальных проявлений хронического вагинита.

**Ключевые слова:** вагинит, хронический вагинит, долабораторная диагностика, жалобы, визуальная оценка, микроскопия мазка, сравнительная характеристика, характер выделений, гиперемия влагалища, вагинальное отделяемое.

**STUDY OF THE RELIABILITY OF PRE-LABORATORY DIAGNOSTIC METHODS IN CASE OF CHRONIC VAGINITIS**

Research article

**Drobyazko P.A. \***

ORCID: 0000-0001-8116-8611,

City Clinical Hospital named after M.P. Konchalovsky, Moscow Department of Health, Moscow, Russia

\* Corresponding author (drobyazko.peter[at]gmail.com)

**Abstract**

The article contains a comparative study of the severity of inflammatory processes in women with chronic vaginitis regarding complaints of patients and visual manifestations of chronic vaginitis as the main methods of pre-laboratory diagnosis. Results of surveys of patients with chronic inflammatory processes in the lower reproductive tracts are presented. Comparative assessment of the level of leukocytes during the microscopy of wipe samples and visual manifestations of chronic vaginitis is carried out.

**Keywords:** vaginitis, chronic vaginitis, pre-laboratory diagnostics, complaints, visual assessment, wipe samples microscopy, comparative characteristics, nature of running secretion, vaginal hyperemia, vaginal secretion.

**Введение**

Хронический воспалительный процесс в нижних репродуктивных путях у женщин, в преобладающем большинстве случаев, является причиной первичного обращения за специализированной медицинской помощью в ряде европейских стран. По результатам исследований в ряде зарубежных изданий, обострение воспалительного процесса во влагалище - наиболее частая причина первичной гинекологической консультации. Предполагается что порядка 75% женщин в общей регионарной популяции, испытывали не менее одного эпизода обострения хронического вагинита на протяжении всей жизни, и более половины этих женщин имели хотя бы один эпизод рецидива данного заболевания, при довольно высокой общей заболеваемости в регионе. [5], [6] Стоит учитывать, что по некоторым данным до 33,6% женщин страдающим хроническим вагинитом не реализовали свою репродуктивную функцию, поэтому проблема ранней диагностики заболевания имеет важную роль в достижении репродуктивной цели у женщин [1].

Общеизвестно, что хронический воспалительный процесс протекает относительно бессимптомно, и основные критериями для постановки диагноза, при первичном посещении врача, могут служить лишь специфические жалобы и местные физикальные проявления.

При исследовании жалоб и данных гинекологического осмотра пациенток с хроническим вагинитом, по данным Маловой И.О., Рагчаа Д. от 2007 года, были выделены следующие основные жалобы: периодический зуд и дискомфорт в области половых путей - 64,1%, боли тянущего характера внизу живота - 7,7%, нарушение и дискомфорт при мочеиспускании - 7,7%, следует отметить что часть пациенток из 485 исследуемых женщин вовсе не предъявляли жалоб - 28,2%. По данным физикального осмотра количество выделений у преобладающего большинства пациенток было умеренное - 79,5%, в отношении характера выделений у авторов были получены следующие результаты: слизистые - 69,2%, гнойные и слизисто-гнойные - 23,1% [2].

Так же по мнению других отечественных авторов, Манухина И.Б. и Комлевой Л.Ф. от 2012 года, при исследовании неспецифического вагинита, на момент первичного обращения пациенток за медицинской помощью, были выделены такие основные жалобы, как: выделения из половых путей - 67,5%, носящие постоянный характер и в ряде случаев усиливающиеся после менструации, зуд в области половых путей - 20%, жжение - 12,5%, чувство дискомфорта в области гениталий - 5% [3].

Результаты Тютюнник В.Л. и соавторов в отношении жалобы были следующие – 96% пациенток с хроническим воспалительным процессом предъявляли жалобы на зуд в области преддверия влагалища, 62% на чувство жжения, и 68% на дизурические расстройства [4].

По настоящим данным из литературных источников можно предположить общие основные жалобы:

Зуд в области наружных половых органов от 20% до 96%

- Жжение в области наружных половых органов от 12,5% до 62%
- Субъективное чувство дискомфорта от 5% до 64,1%
- Расстройство мочеиспускания от 7,7% до 68%
- Боли внизу живота 7,7%

Зуд и жжение в области влагалища и малых половых губ можно считать абсолютными, специфическими жалобами при наличии воспалительного процесса, а такие жалобы как дискомфорт в области половых органов, жалобы на дизурические расстройства и боли внизу живота, более целесообразно отнести к сугубо относительным жалобам требующие исключения другой интра- и экстрагенитальной патологии.

### Исследование

При исследовании хронического вагинита производилось анкетирование 122 пациенток, как по специфическим жалобам так и по общим вопросам в отношении активного образа жизни и сексуальной активности. Анкета состояла из 10 вопросов, ответом на которых был односложный вопрос. Каждая исследуемая женщина должна была ответить на следующие вопросы:

1. Ощущаете ли вы постоянное чувство дискомфорта в области половых путей?
2. Ощущаете ли вы постоянные или периодические, ощущения жжения или сухости в области преддверия влагалища, в полости влагалища?
3. Беспокоит ли вас характер (запах) либо количество вагинальных выделений?
4. Ощущаете ли вы дискомфорт в области половых путей во время физической активности, мешает ли это в повседневной жизни?
5. Отмечали ли вы чувство жжения в области уретры, или дискомфорт во время мочеиспускания?
6. Ощущаете ли вы дискомфорт в низу живота, в области влагалища, или наружных половых органов во время занятий сексом?
7. Отмечали ли вы эпизоды болевых ощущений во время непосредственно полового акта (пенетрации)?
8. Удовлетворяет ли, в целом, качество вашей половой жизни?
9. Мешает ли вам сухость во влагалище либо вагинальные выделения (количество, характер, запах) во время полового акта, ощущение стыда перед партнером?
10. Чувствуете ли вы субъективное ощущение наличия заболевания?

Оценка анкетирования проводилась по 10-ти балльной шкале, 1 балл за каждый положительный ответ, кроме 8-го вопроса, в данном вопросе считался отрицательный ответ.

Всем исследуемым пациенткам проведен гинекологический осмотр с оценкой состояния слизистой влагалища на наличие гиперемии, а так же количественная и характерная оценка отделяемого из влагалища. Так как само понятие гиперемии слизистой довольно относительно, в случае с хроническим вагинитом, проводилась оценка слизистой влагалища относительно слизистой вульвы, и на основании данного сравнения проводилось суждение о гиперемии слизистой влагалища. Вагинальное отделяемое характеризовалось по 2-м параметрам: количество и характер выделений. Относительно количественной оценки, количество отделяемого трактовалось как скудное, умеренное или обильное. Характер выделений так же трактовался по трем категориям: слизистые выделения (прозрачные и довольно низкой плотности), белесоватые выделения (белого цвета, без примесей и высокой плотности) и выделения гнойного характера (обычно грязно-белого цвета, часто с примесью желтого, средней плотности и характерным резким запахом).

С целью оценки выраженности воспалительного процесса проводилось микроскопическое исследование вагинального мазка. Количество лейкоцитов в поле зрения служило маркером выраженности воспалительного процесса, все исследуемые пациентки были разделены на несколько групп: с лейкоцитозом в мазке до 20-ти лейкоцитов в поле зрения, от 20-ти до 50-ти, от 50-ти до 100, и более 100 в поле зрения.

Далее проведено сравнение среднего количества лейкоцитов в мазке, со средним баллом по жалобам пациенток, с пациентками с наличием гиперемии влагалища и по характерам и количеству выделений.

### Результаты исследований

При исследовании 122-х пациенток общая сумма баллов составила 358, в следующем соотношении: 0 баллов (полное отсутствие жалоб) – 37 пациенток (30,33% от общего числа исследуемых женщин), 1 балл – 17 пациенток (13,93%), 2 балла – 7 пациенток (5,74%), 3 балла – 13 пациенток (10,65%), 4 балла – 12 пациенток (9,4%), 5 баллов – 12 пациенток (9,4%), 6 баллов – 7 пациенток (5,74%), 7 баллов – 6 пациенток (4,92%), 8 баллов – 5 пациенток (4,1%), 9 баллов – 4 пациентки (3,27%), 10 баллов (наличие всех жалоб указанных в анкете) – 2 пациентки (1,64%).

При физикальной оценки состояния слизистой влагалища - из 122 исследуемых пациенток у 36-ти женщин отмечалась гиперемия слизистой влагалища, 29,5% от числа исследуемых женщин.

Из общего числа исследуемых женщин с хроническим вагинитом скудные выделения отмечались только у 6-ти пациенток – 4,92%, умеренные у 88-ми – 72,13% и обильные у 28-ми пациенток – 22,95% от числа всех исследуемых женщин. В отношении характера выделений были получены следующие результаты: слизистые выделения у 54-х пациенток – 44,26%, белесоватые у 53-х пациенток – 43,44%, гнойные у 15-ти исследуемых женщин – 12,3% от общего числа пациенток. Преобладающее большинство пациенток имели – умеренные слизистые выделения - 40 пациенток – 32,78% от общего количества исследуемых женщин, и умеренные белесоватые выделения - 37 пациенток и 30,38% соответственно. Данные выделения в большинстве источников являются условно нормальными для женщин репродуктивного возраста. Обильные белесоватые выделения были обнаружены у 13-ти пациенток (10,65%),



обильные слизистые и умеренные гнойные у 11-ти в каждом случае (9,01%), обильные гнойные у 4-х пациенток (3,27%), скудные слизистые и скудные белесоватые у 3-х в каждом виде выделений (2,45%) и скудных гнойных выделений не было ни одной пациентки из числа исследуемых женщин. Более наглядно данные изложены в диаграмме №1.



Рис. 1 – Характеристика выделений при хроническом вагините

#### Сравнительная оценка уровня лейкоцитов при микроскопии мазка, жалоб и визуальных проявлений хронического вагинита

Жалобы пациенток и визуальные проявления хронического вагинита сравнивались с уровнем лейкоцитов в микроскопии мазка, как с маркером выраженности воспалительного процесса, с целью оценки достоверности жалоб и клиническим проявлений при данном заболевании. При сравнении жалоб средний уровень лейкоцитов в каждой группе был от 20 до 50 в поле зрения, кроме группы с 7-ю баллами при анкетировании в данном случае в среднем в группе он был менее 20-ти. Сравнительная оценка жалоб и выраженности воспалительного процесса, и количественная оценка жалоб представлена в графике №1. Так же при обратном исследовании, с целью достоверности, у женщин с уровнем лейкоцитоза в мазке более 100 в поле зрения, средний балл по анкетированию составил 3,4 балла. Средний уровень лейкоцитоза у женщин с выраженной гиперемией слизистой влагалища тоже не отличается высоким уровнем в сравнении, у пациенток с гиперемией влагалища он составил от 20 до 50 лейкоцитов в поле зрения, хотя равная часть пациенток имела значение от 50 до 100 (12 пациенток с лейкоцитозом от 20 до 50-ти и от 50 до 100 из 36-ти женщин с гиперемией влагалища). При обратном исследовании у пациенток с лейкоцитозом в мазке свыше 100 и более в поле зрения гиперемия влагалища отмечалась примерно у трети пациенток – 33,3% женщин.



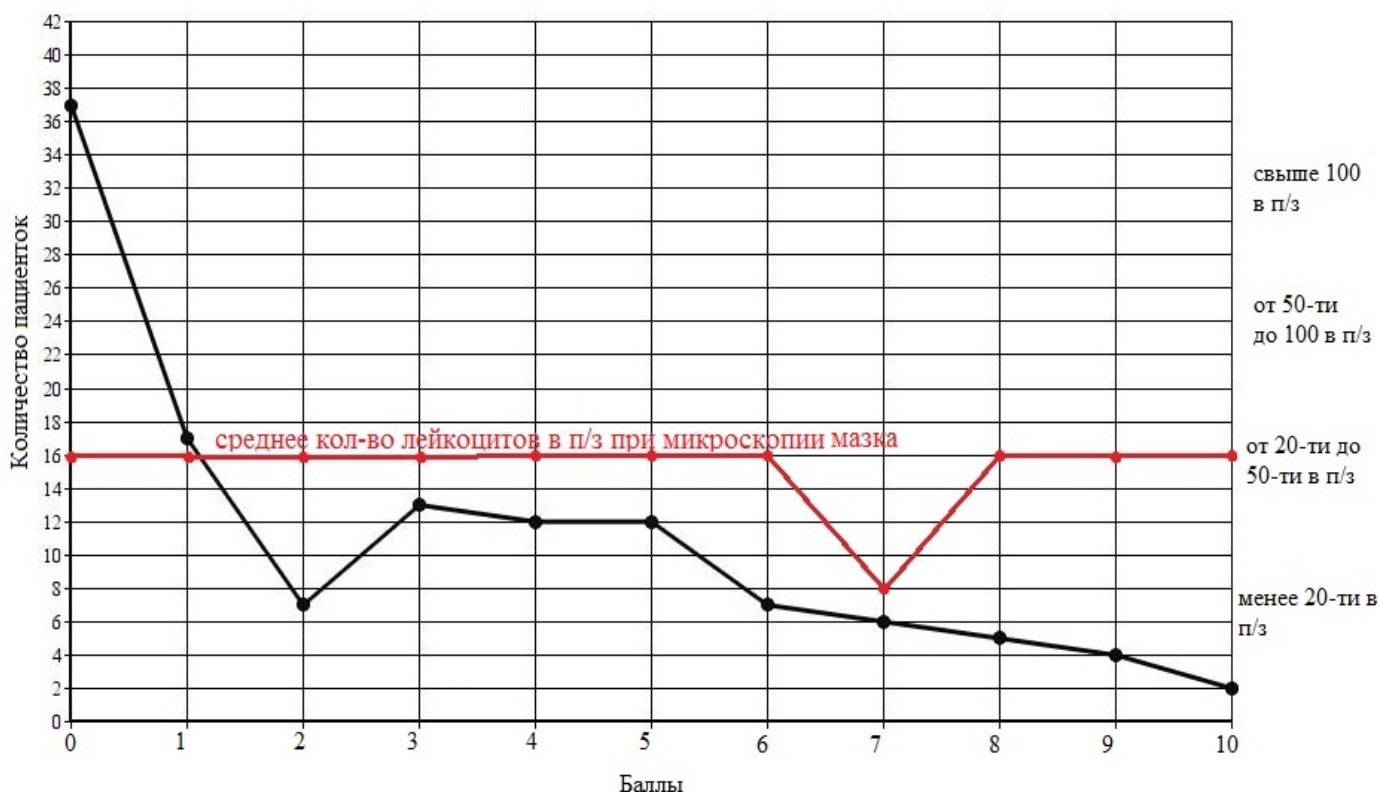


Рис. 2 – Результаты анкетирования пациенток

При оценки выделений в сравнении с уровнем лейкоцитов в мазке были получены аналогичные результаты, во всех исследуемых группах уровень лейкоцитоза составил от 20 до 50-ти в поле зрения, кроме групп со скудными белесоватыми выделениями и группы с обильными гнойными выделениями в данных случаях он был ниже 20-ти лейкоцитов в поле зрения на момент исследования, при интерпретации результатов у групп с низким уровнем лейкоцитоза можно судить о хронизации процесса и о наличии явлений бактериального вагиноза у данных групп пациенток. При обратном исследовании у пациенток с максимально высоким уровнем лейкоцитоза выделения трактовались как умеренные слизистые – 50% пациенток, умеренные белесоватые – 30%, обильные слизистые и обильные гнойные по 10% в каждой исследуемой группе от числа женщин с лейкоцитозом более 100 в поле зрения.

#### Заключение

По результатам данного исследования, очевидно, что жалобы пациенток даже при подробном исследовании, и визуальные проявления не имеют прямой зависимости с выраженностью воспалительного процесса. Их недостаточно для характеристики воспалительного процесса, а так же для ранней диагностики вагинита, особенно в хронической форме, при данной форме воспалительного процесса уровень лейкоцитоза при микроскопическом исследовании мазка сравнительно низкий, не превышающий у больших групп пациенток, 50-ти в поле зрения. Принципиально важные данные, получены при обратном исследовании - у пациенток с лейкоцитозом в мазке свыше 100 в поле зрения гиперемия влагалища присутствовала только у 33,3% пациенток, у большинства пациенток были условно нормальные выделения из половых путей – умеренные слизистые выделения, и умеренные белесоватые выделения – 50% и 30% пациенток, а так же средний балл по жалобам при подробном анкетировании составил 3,4 балла. На основании вышесказанного можно судить о низкой диагностической достоверности долабораторных методов диагностики хронического воспалительного процесса в нижних репродуктивных путях. И низком уровне диагностики заболевания в целом, при отсутствии качественного клинико-лабораторного арсенала средств исследований, так же возникает вопрос о целесообразности рутинных скрининговых исследований и выделения групп риска в отношении хронического вагинита.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Список литературы / References

1. Дробязко П.А. Хронический вагинит у женщин с нереализованной репродуктивной функцией / Дробязко П.А. Авиценна №23, 2018 год, стр. 14-16
2. Малова И.О. Сибирский медицинский журнал 2007 год / Малова И.О., Рагчаа Д., №4, стр. 98-99.
3. Манухин И.Б. Этиопатогенетическая терапия неспецифического вагинит, РМЖ Акушерство и гинекология № 17 / Манухин И.Б. Комлева Л.Ф. Панова И.А. и др. 2012 год, стр. 837-845.
4. Тютюнник В.Л. Современные представления и основные принципы лечения неспецифического вагинита / Тютюнник В.Л., Михайлова О.И., Карапетян Т.Э. и др. РМЖ Акушерство и гинекология, №1 2012 год, стр. 24-27
5. Del-Cura G.I. Patient preferences and treatment safety for uncomplicated vulvovaginal candidiasis in primary health care. PRESEVAC project. / Del-Cura G.I., Garcia-de-Blas G.F. // BMC Public Health. 2011. Vol. 31(11). P. 63–65.

6. Suijkerbuijk A. W. Usefulness of primary care electronic networks to assess the incidence of chlamydia, diagnosed by general practitioners / Suijkerbuijk A. W. , Van den Broek I. V. , Brouwer H. J. and others // BMC Family Practice, vol. 12, article 72, 2011.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Drobyazko P.A. Khronicheskii vaginit u zhenshhin s nerealizovannoi reproduktivnoi funktsiei [Chronic Vaginitis in Women with Unrealized Reproductive Function] / Drobyazko P.A. Avicenna No. 23, 2018, pp. 14-16. [In Russian]

2. Malova I.O. Sibirskii meditsinskii zhurnal [Siberian Medical Journal] / Malova I.O., Ragchaa D. 2007, No.4 , pp. 98-99. [in Russian]

3. Manukhin I.B. Etiopatogneteicheskaya terapiya nespecificheskogo vaginita [Etiopathognetic Therapy of Nonspecific Vaginitis] / Manukhin I.B. Komleva L.F. Panova I.A. and others // RMZH Akusherstvo i ginekologiya [Breast Cancer, Obstetrics and Gynecology] No. 17, 2012, pp. 837-845. [In Russian]

4. Tyutyunnik V.L. Sovremennye predstavleniya i osnovnye printsipy lecheniya nespetsificheskogo vaginita [Modern Views and Basic Principles of Treatment of Nonspecific Vaginitis] / Tyutyunnik V.L., Mikhailova O.I., Karapetyan T.Ye. and others // RMZH Akusherstvo i ginekologiya [Breast Cancer, Obstetrics and Gynecology], No.1 2012, pp. 24-27 [In Russian]

5. Del-Cura G.I. Patient Preferences and Treatment Safety for Uncomplicated Vulvovaginal Candidiasis in Primary Health Care. PRESEVAC Project. / Del-Cura G.I., Garcia-de-Blas G.F. // BMC Public. Health. 2011. Vol. 31(11). P. 63–65.

6. Suijkerbuijk A. W. Usefulness of Primary Care Electronic Networks to Assess the Incidence of Chlamydia, Diagnosed by General Practitioners / Suijkerbuijk A. W., Van den Broek I. V., Brouwer H. J. and others // BMC Family Practice, vol. 12, article 72, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.022>

**ОСОБЕННОСТИ КЛИНИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМАТИЗАЦИИ  
ПСИХОПАТОЛОГИЧЕСКИХ СИНДРОМОВ ПРИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПСИХИЧЕСКИХ РАССТРОЙСТВАХ**  
Обзор

**Юрасова Е.Ю.<sup>1,\*</sup>, Кирюхина С.В.<sup>2</sup>, Подсеваткин В.Г.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4547-8185;

<sup>1, 2, 3</sup> ФГОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева,  
Саранск, Росси

\* Корреспондирующий автор (css92[at]list.ru)

**Аннотация**

В статье обзорного характера рассмотрена проблема систематизации и особенности клинического течения органических психических расстройств. Представлены взгляды ряда авторов на характерные психопатологические синдромы при данной группе заболеваний. Нами изучены и сгруппированы характерные особенности некоторых органических психических расстройств. Выявлена и обоснована необходимость дальнейшей работы в области систематизации клинических особенностей проявлений органических психических расстройств в различных нозологических группах заболеваний.

**Ключевые слова:** органические психические расстройства, клиническое течение, психопатологические синдромы, когнитивные, мнестические функции.

**FEATURES OF CLINICAL COURSE AND PROBLEMS OF SYSTEMATIZATION OF PSYCHOLOGICAL  
SYNDROMES IN CASE OF ORGANIC MENTAL DISORDERS**

Review

**Yurasova E.Yu.<sup>1,\*</sup>, Kiryukhina S.V.<sup>2</sup>, Podsevatkin V.G.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4547-8185;

<sup>1, 2, 3</sup> FSEI of HE N. P. Ogarev's Mordovia State University, Saransk, Russia

\* Corresponding author (css92[at]list.ru)

**Abstract**

This review article discusses the problem of systematization and features of the clinical course of organic mental disorders. The views of a number of authors on characteristic psychopathological syndromes in this group of diseases are presented. Characteristic features of some organic mental disorders are grouped and studied. The necessity for further work in the field of systematizing the clinical features of the manifestations of organic mental disorders in various nosological groups of diseases is identified and justified.

**Keywords:** organic mental disorders, clinical course, psychopathological syndromes, cognitive, mnemonic functions.

Изучение особенностей течения органических психических расстройств, является актуальной задачей современной клинической медицины в связи с высокой распространенностью данной группы заболеваний, ростом факторов риска, предрасполагающих к возникновению органических психических расстройств, трудностями в дифференциальной диагностике [4, С. 10-12], [2], [5].

Учитывая данные государственного статистического наблюдения в России с 2013г. по 2015 г., можно сказать, что в последние 8-10 лет возрастает количество пациентов с органическими психозами и слабоумием, а так же органическими непсихотическими психическими расстройствами. По данным Казаковцева Б.А. велика доля лиц с органическими психическими расстройствами в целом (34,3%). На долю лиц с органическими психозами и слабоумием приходится 40,6%, а в группе лиц с непсихотическими психическими расстройствами на органические не психотические расстройства приходится 45,7% [4]. Наиболее важными факторами, оказывающими влияние на распространенность и течение органических психических расстройств, по мнению Гатина Ф.Ф. и Волгиной Ф.М., выступают: неудовлетворительные жилищные условия, стресс, неблагоприятные условия труда, производственных вредности, вредные привычки, ежемесячный доход ниже прожиточного минимума, перенесенные в прошлом травмы головного мозга и другие экзогенно-органические вредности, наличие сопутствующей патологии [2].

Органические психические расстройства – это совокупность психических расстройств, имеющих общую этиологию, а именно, факт перенесенного экзогенного воздействия, ведущий к патогномичным психопатологическим проявлениям вследствие церебральной дисфункции, а также имеющих общий патоморфологический субстрат, который возможно выявить. Церебральная дисфункция при органическом расстройстве, согласно критериям МКБ 10, может быть первичная (поражается непосредственно или преимущественно мозг) и вторичная (системное поражение многих органов). В случае системного поражения органов, корректно будет употреблять термин симптоматическое органическое психическое расстройство [6].

Разработаны различные классификации органических психических расстройств МКБ 9, МКБ 10, DSM. На сегодняшний день, основной классификацией в России и мире, является МКБ 10 [12]. Данная классификация схожа с DSM и имеет значительные отличия МКБ-9. Главное отличие связано с тем, что органические психические расстройства представлены в виде синдромальных рубрик, что не дает возможности отразить этиологию заболевания. Также присутствуют новые рубрики, не имеющие четкого выделения психотических и непсихотических расстройств. [10, С. 84–87].

Согласно клиническим рекомендациям «Диагностика и лечение органических психических расстройств» существует следующая классификация органических, включая симптоматические психические расстройства: деменции, дефицитарные, органические психотические расстройства, органические аффективные расстройства, органические личностные расстройства [6].

Деменция (приобретенное слабоумие) - расстройство в связи с прогрессирующим органическим церебральным заболеванием либо перенесенным тяжелым поражением головного мозга, которое проявляется стойким оскудением психической деятельности с нарушением ряда высших корковых функций; нарушения когнитивных функций у больных сопровождаются обеднением эмоций, нарушением эмоционального контроля, поведения или мотиваций [6]. При этом, при различных заболеваниях, клиника деменции имеет свои особенности (см. таблицу 1). Таким образом, в основе классификации лежит этиологический принцип.

Таблица 1 – Клинические особенности психопатологических расстройств при различных формах деменции

№	Заболевание	Клинические особенности	Автор, год
1.	Деменция при болезни Альцгеймера	<ul style="list-style-type: none"> <li>• постепенное начало;</li> <li>• на ранних стадиях расстройство <u>кратковременной памяти</u>, в дальнейшем расстройство <u>долговременной памяти</u>;</li> <li>• присоединение нарушений речи, когнитивных функций, пациент теряет способность к ориентировке и самообслуживанию.</li> </ul>	Таберт М.Х., 2005г. [17].
2.	Сосудистая деменция	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в начале заболевания страдает поведенческая функция, затем присоединяются нарушения памяти;</li> <li>• разнообразие симптомов в зависимости от места локализации патологического очага в мозге;</li> <li>• ступенеобразное развитие</li> </ul>	Juebin Huang, 2018г. [13].
		при мультиинфарктной деменции: наблюдается эпизод ухудшения с дальнейшим интеллектуальным снижением, затем последующее умеренное восстановление когнитивных функций.	
3.	Деменция при болезни Крейтцфельда-Якоба	<ul style="list-style-type: none"> <li>• быстро прогрессирующая деменция с нарушением всех корковых функций и пирамидными нарушениями;</li> <li>• миоклонус;</li> <li>• атаксия, акинетический мутизм;</li> <li>• дизартрия;</li> <li>• эпилептические припадки;</li> <li>• зрительные нарушения.</li> </ul>	Cohen OS, Chapman J, Lee H, Nitsan Z, Appel S, Hoffman C, Rosenmann H, Korczyn AD, Prohovnik I., 2011г. [15].
4.	Деменция при болезни Гентингтона	<ul style="list-style-type: none"> <li>• не имеет единого стереотипа развития;</li> <li>• психические нарушения (личностные изменения, развитие деменции, психотические расстройства) могут</li> </ul>	Тиганов А.С., 1999г. [11].
		возникать в разные сроки после появления хореатических гиперкинезов;	
		• слабоумие не всегда тотально, иногда развитие деменции приостанавливается.	
5.	Деменция при болезни Паркинсона	<ul style="list-style-type: none"> <li>• характерны тремор, гипокинезы, мышечная ригидность, эмоционально-волевые расстройства, склонность к депрессивным и ипохондрическим реакциям;</li> <li>• мнестические расстройства обычно менее выражены, чем например при болезни Альцгеймера;</li> <li>• характерны нарушения в сфере праксиса и гнозиса, в связи со зрительно-пространственными расстройствами.</li> </ul>	Stern, Y., 1993г. [16].

Для болезни Альцгеймера характерно постепенное начало. При сосудистой деменции в начале заболевания страдает поведенческая функция, затем присоединяются поведенческие нарушения [17]. Триада болезни Крейтцфельда-Якоба: 1) быстро прогрессирует; 2) значительные пирамидные и экстрапирамидные нарушения,

сопровождающиеся миоклонусом; 3) трехфазная электроэнцефалограмма. Данное заболевание является генетическим, как и деменция при болезни Гентингтона. Для клиники последней характерны гиперкинезы, изменения личности, психотические расстройства. Дегенеративное атрофическое заболевание экстрапирамидной системы болезнь Паркинсона, вызывают деменцию без типичных клинических проявлений. Также характерны нарушения эмоционально-волевой сферы (снижение активности и побуждений), склонность к депрессивным и ипохондрическим реакциям, замкнутость. Для данной болезни характерны тремор, гипокинезы, мышечная ригидность.

К дефицитарным органическим психическим расстройствам относится амнестический синдром, эмоционально лабильное (астеническое) расстройство, легкое когнитивное расстройство, постэнцефалитный синдром. Название этой группы говорит само за себя. Наблюдается так называемый «дефицит» чего-либо (памяти, внимания, продуктивности умственной деятельности, работоспособности). Так же характерны эмоциональная неустойчивость, вегетативные нарушения.

К органическим психическим расстройствам относится делирий, не вызванный алкоголем или другими психоактивными веществами. Для него, как и для алкогольного делирия характерно расстройство сознания, цикличность сна и бодрствования, психомоторное возбуждение, нарушение памяти, внимания, восприятия. Длительность зависит от этиологии данной болезни (от пары недель до шести месяцев). Данное состояние может встречаться при деменции или предшествовать ей. Для органического галлюциноза ключевыми выступают обманы восприятия (зрительные, обонятельные, слуховые, тактильные и др.), сопровождающиеся интеллектуально-мнестическим снижением. Сознание при данной нозологии не помрачено, критика сохранена, может и наблюдаться бредовая интерпретация. Органическое кататоническое расстройство проявляется сниженной или повышенной психомоторной активностью, сочетающимися с другими кататоническими симптомами (восковая гибкость, стереотипии, импульсивность). При органическом бредовом (шизофреноподобном) расстройстве важной задачей является установить органический субстрат данного заболевания. Так как в клинике наблюдается характерные для шизофрении проявления (галлюцинации, бред, расстройства мышления, кататоническая симптоматика). Так же важно отсутствие расстройств сознания и памяти, интерпретации бредом галлюцинаторных переживаний.

Органические аффективные расстройства (расстройства настроения) сочетают в своей клинике черты аффективных расстройств (F30-F33) и разной выраженности психоорганический синдром.

В группу органических личностных расстройств входят органическое диссоциативное расстройство характерно сочетание клиники диссоциативного конверсионного расстройства и органического психического расстройства.

В своей лекции М.Я. Киссин подробно рассказывает о психопатологических синдромах при экзогенно-органических расстройствах, не забывая упомянуть важнейшую выдвинутую в 1908 г. известным немецким психиатром К. Бонгеффером теорию об «экзогенных типах реакций». Согласно этой теории на разнообразные внешние вредности головной мозг может отвечать лишь ограниченным спектром неспецифических психопатологических реакций [9].

При всем многообразии можно выделить две основные группы психопатологических синдромов при органических психических расстройствах. Первая группа — это поражения когнитивных функций (внимание, память, интеллект, обучаемость, нарушение опознавания); вторая группа — расстройства восприятия и мыслительных процессов (бред, галлюцинации), настроения и эмоций (тревога, депрессия и же наоборот приподнятое настроение), а также общие личностные особенности. Следует отметить, что установить принадлежность расстройств второй группы к органическим психическим расстройствам сложнее, так как многие синдромы, включенные сюда клинически похожи на состояния, возникающие при нозологиях, отнесенных к другим рубрикам (F20-F29, F30-F39, F40-49, F60-69) и не сопровождающимся церебральной дисфункцией. Поэтому актуальными являются вопросы, поставленные в работе В.В. Калинина: «Органические психические расстройства в МКБ-10. Несовершенство критериев диагностики или псевдодиагностические категории». Одним из главных вопросов является «насколько правомерна и обоснована диагностика названных категорий в рамках психического органического расстройства?» [5]. Эта проблема представляется важной, поскольку не для всех из указанных диагностических категорий имеются специфические самостоятельные психопатологические характеристики, характерные для исключительно их органической природы. Так в качестве примера, ссылаясь на А. Marneros, Schneider K., автор подчеркивает, что четкой границы между органическими и неорганическими депрессиями попросту не существует, ни в патогенезе ни в психопатологических проявлениях.

В Оксфордском руководстве по психиатрии органические психопатологические синдромы группируются на основании трех критериев. Первым критерием выступает генерализованность или специфичность психической деятельности. Генерализованный характер поражения влияет на все сферы психической деятельности, в том числе охватывая и когнитивные процессы, настроение и личностные особенности, а специфические затрагивает только одну или две функции. Вторым критерием выступает хронизация или острое течение процесса, так как синдромы в данном случае могут сильно различаться. Третий критерий схож с вышеописанным критерием МКБ 10, где церебральная дисфункция может быть первичная (поражается непосредственно или преимущественно мозг) и вторичная (системное поражение многих органов) [3].

Примечательна закономерность, выделенная О.П. Шамаковой и Н.А. Мазасовой. Наиболее распространенными синдромами в группе органических психических расстройств у детей в возрасте 8,2±3,4 года являлся церебрастенический — 112 (21,3%) наблюдений, психопатоподобный — 106 (20,1%), неврозоподобный — 96 (18,2%), эпилептиформный — 38 (7,2%). В 30% случаев сочетались несколько синдромов. К 25 годам лучшие клинко-социальные исходы были отмечены у пациентов, наблюдавшихся в детстве с астеническими и неврозоподобными расстройствами; худший — у пациентов, в состоянии которых в детстве фиксировались психопатоподобные нарушения, психоорганический синдром, когнитивное снижение [14].

Таким образом, согласно статистическим данным, на долю лиц с органическими психозами и слабоумием в контингенте больных с психозами, приходится 40,6%, а в группе лиц с непсихотическими психическими

расстройствами на органические непсихотические расстройства приходится 45,7% [4, С. 12]. Это широкая группа психопатологических состояний, включающая в себя множество различных нозологий. Так же многообразны и клинические проявления органических расстройств. Попытки структурировать психопатологические синдромы при органических психических расстройствах позволили выделить две основные группы нарушений: 1) поражение когнитивных функций (память, внимание, интеллект, обучаемость, нарушение осознания); 2) расстройства восприятия и мыслительных процессов (бред, галлюцинации), настроения и эмоций (тревога, депрессия и же наоборот приподнятое настроение), а также общие личностные особенности [1], [7, С. 476], [8, С. 395-396]. Также органические психопатологические синдромы группируются на основании генерализованности и специфичности; остроты и хронизации; первичности и системного поражения органов [3]. На сегодняшний день, накопленные знания, не позволяют полностью решить вопросы, связанные с выделением специфической самостоятельной психопатологической характеристики органических психических расстройств. Недостаточная изученность и структурированность групп клинических проявлений органических психических заболеваний в ряде случаев лежит в основе проблемы диагностики и комплексного лечения органических психических расстройств.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Список литературы / References**

1. Бочкарева Н.В. Патогенетические механизмы развития хронических форм стресс-обусловленных невротических расстройств и возможности их фармакологической коррекции / Н.В. Бочкарева, В.Г. Подсеваткин, С.В. Кирюхина // Психическое здоровье. – 2015. – Т. 13. – №1(114).
2. Гатин Ф.Ф. Влияние медико-социальных факторов на формирование органических психических расстройств [Электронный ресурс] / Ф.Ф. Гатин, Ф.М. Волгина // Современные проблемы науки и образования. – Казань, 2014. №6. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16364> (дата обращения: 11.08.2019).
3. Гельдер М. Органические психические расстройства / М. Гельдер, Д. Гэт, М. Ричард // Оксфордское руководство по психиатрии. – 2014.
4. Казаковцев Б.А. Состояние психиатрических служб и распространенность психических расстройств в Российской Федерации в 2013—2015 годах / Б.А. Казаковцев, Н.К. Демчева, Т.А. Николаева // Психическое здоровье. – М., 2016. – №7. – 20 с.
5. Калинин В.В. Органические психические расстройства в МКБ-10: Несовершенство критериев диагностики или псевдодиагностические категории / В.В. Калинин // Социальная и клиническая психиатрия. – М., 2014. – Т. 24. – № 3.
6. Кекелидзе З.И. Клинические рекомендации. Диагностика и лечение органических психических расстройств. / З.И. Кекелидзе, Н.Г. Незнанов. – М., 2014. – 18 с.
7. Подсеваткин В.Г. Исследование влияния комбинированной терапии на динамику основных психопатологических расстройств и качество жизни пациентов с невротическим развитием личности / В.Г. Подсеваткин, Н.В. Бочкарева, С.В. Кирюхина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4.
8. Подсеваткин В.Г. Исследование влияния комплексной терапии с использованием антиоксиданта, иммунокорректора, гипербарической оксигенации на динамику основных психопатологических симптомов при органическом поражении головного мозга / В.Г. Подсеваткин, Н.Н. Калинкина, С.В. Кирюхина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4.
9. Киссин М.Я. Экзогенно-органические расстройства / М.Я. Киссин // Электронный учебник «Психиатрия и наркология». – СПб. – №11.
10. Петрюк П.Т. МКБ-9 и МКБ-10: сходство, различие и трудности понимания / П.Т. Петрюк, В.Н. Шевелев, В.П. Емельянов // Таврический журнал психиатрии. – 2005. – Т. 9. – № 3.
11. Тиганов А.С. Эндогенно-органические психические заболевания / А.С. Тиганов // Руководство по психиатрии в 2 томах. – М., 1999. – Т. 2. – 721 с.
12. Холмс Д. Аномальная психология / Д. Холмс // Концентрированная психология. – СПб., 2003. – 304 с.
13. Хуанг Ю. Сосудистая деменция / Ю. Хуанг // Справочник Msd. 2018.
14. Шмакова О.П. Органические психические расстройства детско-подросткового возраста: результаты длительного наблюдения / О.П. Шмакова, Н.А. Мазаева // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – М., 2018. – № 1.
15. Cohen O.S. Pruritus in familial Creutzfeldt—Jakob disease: a common symptom associated with central nervous system pathology / Cohen O.S., Chapman J, Lee H, and others - 2011. – Vol. - 258. – P. - 89-95.
16. Stern Y. Comparison of cognitive changes in patients with Alzheimer's and Parkinson's disease / Y. Stern // Arch. neurol. - 1993. - Vol. 50. - № 10. - P. 1042–1045.
17. Tabert M.H. A 10-item smell identification scale related to risk for Alzheimer's disease / Tabert M.H., Liu X., Doty R.L. and others // Annals of Neurology : journal. - 2005. - Vol.58. - P.155—160.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Bochkareva N.V. Patogeneticheskie mekhanizmy razvitiya khronicheskikh form stress-obuslovlennykh nevroticheskikh rasstroystv i vozmozhnosti ikh farmakologicheskoy korrektsii [Pathogenetic mechanisms of the development of chronic forms of stress-induced neurotic disorders and the possibility of their pharmacological correction] / N.V. Bochkareva, V.G. Podsevatkin, S.V. Kiryukhina // Psikhicheskoe zdorov'ye [Mental health]. – 2015. – Vol.13. – № 11(114). [in Russian]
2. Gatin F.F. Vliyanie mediko-sotsial'nykh faktorov na formirovanie organicheskikh psikhicheskikh rasstroystv [The influence of medical and social factors on the formation of organic mental disorders] [Electronic resource]/ F.F. Gatin, F.M. Volgina // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. – Kazan, 2014. – №6. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16364> (acctsed: 11.08.2019). [in Russian]

3. Gel'der M. Organicheskie psikhicheskie rasstroystva [Organic mental disorders] / M. Gel'der, D. Get, M. Richard // Oksfordskoe rukovodstvo po psikhiatrii [Oxford Psychiatry Edition] - 2014. [in Russian]
4. Kazakovtsev B.A. Sostoyanie psikhiatricheskikh sluzhb i rasprostranennost' psikhicheskikh rasstroystv v Rossiyskoy Federatsii v 2013—2015 godakh [The state of psychiatric services and the prevalence of mental disorders in the Russian Federation in 2013-2015] / B.A. Kazakovtsev, N.K. Demcheva, T.A. Nikolaeva // Psikhicheskoe zdorov'ye [Mental health]. - M., 2016. - №7. - P. 20. [in Russian]
5. Kalinin V.V. Organicheskie psikhicheskie rasstroystva v MKB-10: Nesovershenstvo kriteriev diagnostiki ili psevdodiagnosticheskie kategorii [Organic mental disorders in the ICD-10: insufficient diagnostic criteria or pseudodiagnostic categories] / V.V. Kalinin // Sotsial'naya i klinicheskaya psikhiatriya [Social and clinical psychiatry]. - M., 2014, Vol. 24. - № 3. [in Russian]
6. Kekelidze Z.I. Klinicheskie rekomendatsii. Diagnostika i lechenie organicheskikh psikhicheskikh rasstroystv [Clinical recommendations. Diagnosis and treatment of organic mental disorders] / Z.I. Kekelidze, N.G. Neznakov. M., 2014. - P. 18. [in Russian]
7. Podsevatkin V.G. Issledovanie vliyaniya kombinirovannoy terapii na dinamiku osnovnykh psikhopatologicheskikh rasstroystv i kachestvo zhizni patsientov s nevroticheskim razvitiem lichnosti [Study of the effect of combination therapy on the dynamics of the main psychopathological disorders and the quality of life of patients with neurotic personality development] / V.G. Podsevatkin, N.V. Bochkareva, S.V. Kiryukhina, // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. - 2015. - № 4. [in Russian]
8. Podsevatkin V.G. Issledovanie vliyaniya kompleksnoy terapii s ispol'zovaniem antioksidanta, immunokorrektora, giperbaricheskoy oksigenatsii na dinamiku osnovnykh psikhopatologicheskikh simptomov pri organicheskom porazhenii golovnoy mozga [Study of the effect of complex therapy using an antioxidant, immunocorrector, hyperbaric oxygenation on the dynamics of the main psychopathological symptoms in organic brain damage] / V.G. Podsevatkin, N.N. Kalinkina, S.V. Kiryukhina // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. - 2015. - № 4. [in Russian]
9. Kissin M.Ya. Ekzogenno-organicheskie rasstroystva [Exogenous organic disorders] / M.Ya.Kissin // Elektronnyy uchebnik Psikhiatriya i narkologiya [Electronic textbook Psychiatry and Addiction]. - СПб. - №11
10. Petryuk P.T. MKB-9 i MKB-10: skhodstvo, razlichie i trudnosti ponimaniya [ICD-9 and ICD-10: similarity, distinction and difficulty understanding] / P.T. Petryuk, V.N. Shevelev, V.P. Emel'yanov // Tavricheskii zhurnal psikhiatrii [Tauride journal of Psychiatry]. - 2005 - № 3. [in Russian]
11. Tiganov A.S. Endogenno-organicheskie psikhicheskie zabolevaniya [Endogenous organic mental disorders] / A.S. Tiganov // Rukovodstvo po psikhiatrii v 2 tomakh [Psychiatry Manual in 2 Volumes]. - M., 1999. - Vol. 2. - P. 721.
12. Kholms D. Anomal'naya psikhologiya [Abnormal psychology] / D. Kholms // Kontsentrirrovannaya psikhologiya [Concentrated psychology]. - СПб, 2003. - P. 304. [in Russian]
13. Huang J. Sosudistaya dementsiya [Vascular dementia] / J. Huang // Spravochnik Msd [Directory Msd]. - 2018
14. Shmakova O.P. Organicheskie psikhicheskie rasstroystva detsko-podrostkovogo vozrasta: rezul'taty dlitel'nogo nablyudeniya [Child-adolescent organic mental disorders: long-term follow-up] / O.P. Shmakova, N.A. Mazaeva // Zhurnal nevrologii i psikhiatrii im. S.S. Korsakova [Journal of Neurology and Psychiatry of S.S. Korsakova]. - M., 2018. - № 1. [in Russian]
15. Cohen O.S. Pruritus in familial Creutzfeldt—Jakob disease: a common symptom associated with central nervous system pathology / Cohen O.S., Chapman J, Lee H, and others. - 2011. - Vol. 258. - P. 89-95.
16. Stern Y. Comparison of cognitive changes in patients with Alzheimer's and Parkinson's disease / Y. Stern // Arch. neurol. - 1993. - Vol. 50. - № 10. - P. 1042—1045.
17. Tabert M.H. A 10-item smell identification scale related to risk for Alzheimer's disease / Tabert M.H., Liu X., Doty R.L. and others // Annals of Neurology : journal. - 2005. - Vol.58. - P.155—160.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.023>**ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ТВЕРДОГО РАСТВОРА Fe-Pd В ОДНОСТАДИЙНОМ МЕТОДЕ СИНТЕЗА МЕТАЛЛ-УГЛЕРОДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ**

Научная статья

**Ефимов М.Н.<sup>1,\*</sup>, Васильев А.А.<sup>2</sup>, Муратов Д.Г.<sup>3</sup>, Карпачева Г.П.<sup>4</sup>, Сидорова Е.Н.<sup>5</sup>, Дзидзигури Е.Л.<sup>6</sup>, Ковтун А.В.<sup>7</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7996-474X;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Институт нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН, Москва, Россия;<sup>2, 3, 5, 6, 7</sup> Национальный научно-технический университет "МИСиС", Москва, Россия

\* Корреспондирующий автор (efimov[at]ips.ac.ru)

**Аннотация**

Предложена одномоментная процедура одновременной подготовки углеродной поддержки на основе полиакрилонитрила и биметаллических наночастиц Fe-Pd. Показано влияние условий синтеза на структурные характеристики металлоуглеродных наноконкомпозитов. Установлено, что размер кристаллитов наночастиц металлической округлой формы, иммобилизованных в карбонизированной полимерной матрице, увеличивается с повышением температуры синтеза. Константа решетки твердого раствора на основе fcc-Pd в наноконкомпозите меньше, чем характеристика объемного fcc-Pd и уменьшается с увеличением температуры синтеза.

**Ключевые слова:** Наночастицы Fe-Pd, ИК-пиролиз, металл-углеродный наноконкомпозит, твердый раствор.

**EVOLUTION OF Fe-Pd SOLID SOLUTION COMPOSITION IN ONE-STEP METAL-CARBON NANOCOMPOSITE FABRICATION METHOD**

Research article

**Efimov M.N.<sup>1,\*</sup>, Vasilev A.A.<sup>2</sup>, Muratov D.G.<sup>3</sup>, Karpacheva G.P.<sup>4</sup>, Sidorova E.N.<sup>5</sup>, Dzidziguri E.L.<sup>6</sup>, Kovtun A.V.<sup>7</sup>**<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7996-474X;<sup>1, 2, 3, 4</sup> A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis RAS, Moscow, Russia;<sup>2, 3, 5, 6, 7</sup> National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

\* Corresponding author (efimov[at]ips.ac.ru)

**Abstract**

The one-step procedure of simultaneous preparation of polyacrylonitrile-based carbon support and Fe-Pd bimetallic nanoparticles was proposed. The effect of synthesis conditions on the metal-carbon nanocomposite structural characteristics was shown. It was found that the crystallite size of the metallic rounded shape nanoparticles immobilized in the carbonized polymer matrix increases as synthesis temperature rises. The lattice constant of a solid solution based on fcc-Pd in the nanocomposite is smaller than that characteristic of bulk fcc-Pd and decreases with increasing synthesis temperature.

**Keywords:** Fe-Pd nanoparticles, IR pyrolysis, metal-carbon nanocomposite, solid solution.

**Introduction**

At present, the development of new and improvement of existing production methods of nanomaterials with specified properties is one of the priority scientific and industrial tasks. The study of nanosystems features, their structural characteristics and functional properties, depending on the conditions of preparation, makes it possible to tune the parameters of the material during its synthesis and form the final product with specified properties. In general, the nanocomposites may be described as materials consisting of two parts: support and filler [1]. In the case of the metal-carbon nanocomposite, a support can be obtained from many types of carbonaceous precursors such as coal, natural and synthetic polymers, etc., whereas metal nanoparticles play the role of a filler. The features of these systems are determined by the nature and properties of carbon and metal. For example, various types and forms of carbon can define different properties of the carbon support: a porosity, an ability to hold and distribute metal nanoparticles, electrochemical and thermal properties, etc. The functional properties of nanocomposites are provided by the properties of metal nanoparticles which can have catalytic, medical and antibacterial, ferromagnetic and other various properties. Therefore, carbon-based nanocomposites with metal nanoparticles have a very wide range of their applications [2-4]. In order to improve functional properties or expand the scope of possible applications, the preparation alloy or bimetallic nanoparticles is suggested [5], [6], [7]. In addition to the mentioned changes, in some cases the use of alloys or bimetallic nanoparticles can be considered as a route to reduce the cost of production of metal-carbon nanocomposites. Thus, noble metals are widely known as effective catalysts for industrial processes [2], [7], [8]. However, catalysts based on noble metal nanoparticles are expensive. In order to cost-minimize, the strategy of the alloy or bimetallic 'core-shell' structured nanoparticles fabrication was proposed [9], [10]. The catalysts based on monometallic Pd and its alloys nanoparticles show their efficiency in important industrial and promising processes such as Fischer-Tropsch synthesis [11], [12], steam reforming of alcohol [13], [14], hydrogenation reactions, etc [9], [15]. Besides, Pd forming hydrides has hydrogen storage properties [16]. Earlier, we reported on the study of the simultaneous palladium nanoparticles formation and polyacrylonitrile carbonization [17]. Hydrogen released as a result of dehydrogenation of the backbone polymer chain dissolved in the metal leading to a change in the lattice period of nanoscale palladium.



Fe nanoparticles have also catalytic activity in petrochemical reactions. In addition, the attention of researchers focused on mono- and bimetallic Fe nanoparticles due to their excellent ferromagnetic properties [18]. On the other hand, Fe-Pd alloys were reported as ferromagnetic shape-memory materials [19].

To date, the most general metal-carbon nanocomposite fabrication method employs wet synthetic chemistry, which involves the reduction of metal precursors in a solvent and impregnation of the carbon support with it. This strategy needs preparation of the carbon support at first and at the second stage an introducing metal nanoparticles is carried out followed by heating for several hours or applying chemical metal reduction. This route seems more complicated, considering how long it takes for convectional heating to form a carbon support and reduce a metal. Polymers employed as carbon precursors for a support and IR radiation heating provide a tremendous reduction in the time of metal-carbon nanocomposites synthesis. Since this method is scalable, cost-efficient and provides tuning of structural characteristics during the material synthesis, it can be proposed as a very promising route for the industrial fabrication of metal-carbon nanocomposites with desired properties.

In our work, the one-step procedure of metal-carbon nanocomposite preparation based on IR pyrolyzed polyacrylonitrile and Fe-Pd nanoparticles was proposed. We studied the evolution of Fe-Pd solid solution depended on synthesis temperature and suggest the model of alloy nanoparticles formation.

## Materials and methods

### *Metal-carbon nanocomposite preparation*

Metal-carbon nanocomposite based on Fe-Pd nanoparticles supported on polyacrylonitrile-based carbon were fabricated via pyrolysis of the joint solution of polyacrylonitrile and metal salts under infra-red heating in the temperature range of 100-900 °C. The heat treatment was performed in the laboratory device of incoherent IR annealing [20] providing heating temperature up to 900 °C in nitrogen atmosphere. The halogen lamps KG-220 (total power of 24 kW) were applied as a radiation source, which had maximum emission wavelength in the region of 0.9–1.2 μm. Samples were placed in a graphite case. The intensity of the IR radiation controlled by the temperature of heating of the sample, measured by a chromel-alumel thermocouple. The accuracy of temperature control was 0.25 °C.

PAN was prepared according to the described procedure [20]. The joint solution of PAN,  $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_3$  (Acros Organics) and  $\text{PdCl}_2$  (Acros Organics) in DMF was dried in Petri dish at 80 °C. The metals were taken at the atomic ratio of 60:40 (Fe:Pd) and the total amount of metals was 20 wt%. The obtained precursor film was chopped and pre-carbonized at 200 °C for 20 min in air followed by the main annealing stage at the desired temperature from the range of 300-900 °C in nitrogen atmosphere. In the case of lower temperatures (100 and 200 °C) the preliminary annealing was not conducted.

### *Sample characterization*

Powder XRD analysis was performed using a diffractometer “Difray” 401 with Bragg–Brentano focusing, using  $\text{Cr-K}\alpha$  radiation in the continuous mode (wavelength 0.229 nm) at room temperature. The average coherent scattering regions (CSR) size was calculated by the approximation method of the broadening of the diffraction peaks.

The lattice constants of the metal-containing phase were determined by XRD data analysis. In order to determine the composition of the solid solution in the metallic phase, the technique [17] based on comparing the periods of the solvent lattice in bulk and nanosized states was applied:

$$a_{\text{nano}} - a_{\text{bulk}} = \pm \Delta a \quad (1)$$

where  $a_{\text{nano}}$ , nm is the lattice constant of the nanosize solvent,  $a_{\text{bulk}}$ , nm is the lattice constant of the solvent in bulk state. The graph of the dependence of the dissolved element content in the nanosized solvent on its lattice constant was plotted via shifting by  $\pm \Delta a$  value.

The morphology of nanopowders was studied with LEO912 AB OMEGA transmission electron microscope. Elemental composition and elemental mapping were carried out by X-ray fluorescence analysis using a X-ray analytical microscope-microprobe PAM-30μ.

## Results and discussion

The preparation of metal-carbon nanocomposites IR-PAN/Fe-Pd was carried out under the conditions of IR heating. The procedure of the formation of similar metal-carbon nanocomposites was described in [17], [21]. It is worth noting that IR annealing is a more efficient route to carbonize the polymer. IR radiation provides a decrease of carbonization and metallic nanoparticles formation time. It takes only a few minutes for the process instead of several hours for conventional heat treatment.

Thus, PAN is carbonized and structured simultaneously and interdependently with the formation of ordered carbon structures and the reduction of metals in the presence of hydrogen released during the polymer chain dehydrogenation under IR heating.

As shown by the TEM images (Fig. 1), mostly metallic nanoparticles (dark areas on microphotographs) have a rounded shape, close to spherical, and immobilized in a carbon matrix (gray area). However, shapes similar to triangle, square, hexagon are observed and may lead to a change of the material functionalities [22].

In addition, large dark formations can be found on microphotographs. These species can be either large polymeric layers or large particles of the metallic phase. During the preparation of the nanocomposite, various reactions and structural transformations take place. The type and sequence of these reactions change as the pyrolysis temperature increases. Therefore, in some areas the conditions for the coagulation of nanoparticles may arise. As can be seen from Fig. 1 at higher temperatures above mentioned areas and particles are observed more often. Furthermore, the obtained micrographs show that the polymer matrix has a layered structure, and at temperatures above 700 °C, structured carbon tubes are formed.

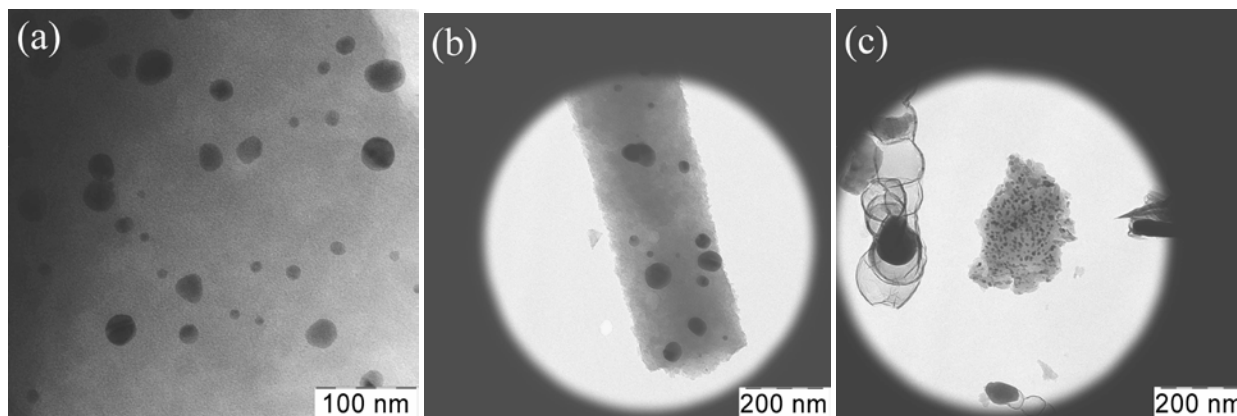


Fig. 1 – TEM images of the IR-PAN/Fe-Pd samples obtained at 500 (a), 600 (b), and 700 °C (c)

The generation and growth of various carbon forms in the structure of the composite depend both on the nature of the metal, which is the catalyst of the process, and on the source of the formation of the carbon phase [23], [24]. The average linear diameters of CSR of metal-containing nanoparticles are calculated and shown in Table 1.

The obtained results show that the size of palladium phase CSR is a few nanometers at the synthesis temperature range of 200-400 °C. The preparation of the metal-carbon nanocomposites at 500 °C provides the increase of CSR size up to 28 nm. As the fabrication temperature rises, the diameter of the CSR does not change much, however, a general tendency for nanoparticle size increase is observed. Most probably, such results of the metallic phase dispersity study are related to the reduction temperatures of palladium and iron in the system, which are about 150 and 500 °C, respectively.

Table 1 – The average linear diameters of CSR of metal-containing nanoparticles

Synthesis temperature, °C	CSR average size, nm
200	8
250	5
300	4
400	8
500	28
600	34
700	23
800	30
900	41

Palladium and iron display unlimited solubility in the liquid phase. As the temperature decreases, the alloys crystallize to form a continuous series of austenitic solid solutions [25], [26]. Table 2 shows the results of the elemental analysis of the metallic phase.

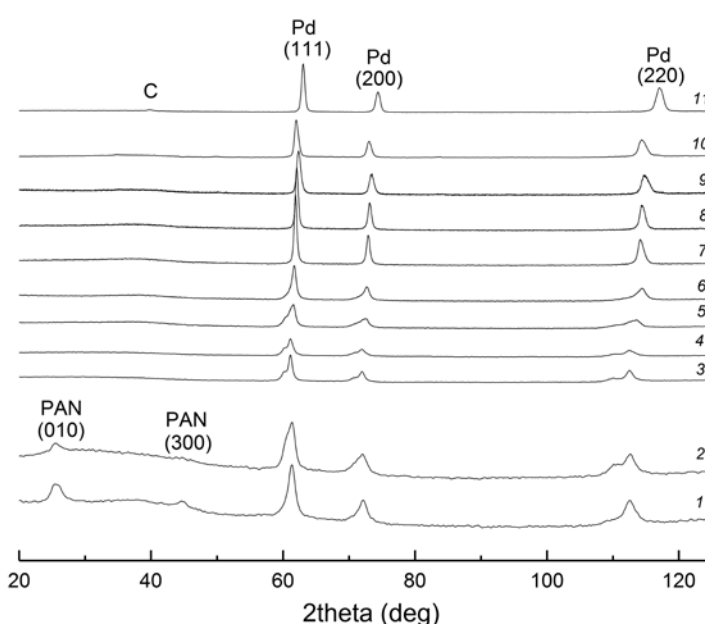


Fig. 2 – XRD patterns of IR-PAN/Fe-Pd nanocomposite, synthesized at 100 (1), 150 (2), 200 (3), 250 (4), 300 (5), 400 (6), 500 (7), 600 (8), 700 (9), 800 (10) and 900 °C (11). The polymer crystal structure is still observed at XRD patterns of samples obtained at 100 (1) and 150 °C (2) in air. The preparation of the nanocomposites at temperatures above 200 °C was conducted in inert atmosphere

Quantitative analysis showed that the content of metal components is very close to the initial composition of Pd and Fe.

The phase analysis presented in Fig. 2 shows the presence of two reflection peaks of the crystal structure of PAN in the samples synthesized at 100 and 150 °C.

An amorphous halo corresponding to the amorphous component of the polymer is also observed at angles  $2\theta = 20-50^\circ$ . As the annealing temperature increases, the crystalline and amorphous phases of PAN are reduced and disappear, and a carbon phase is simultaneously formed. The phases of palladium and amorphous carbon are observed on the XRD patterns of the samples obtained at temperatures 200-900 °C. The phase of metallic iron is not found due to the formation of a solid solution of iron in palladium.

Table 2 – The results of element analysis of metal-carbon nanocomposites prepared at different temperatures

Synthesis temperature, °C	Element	Content, wt%	Content, at%
100	Pd	58.5	42.6
	Fe	41.5	57.4
150	Pd	59	43.1
	Fe	41	56.9
200	Pd	60	44.1
	Fe	40	55.9
250	Pd	59	43.1
	Fe	41	56.9
300	Pd	59.3	43.4
	Fe	40.7	56.6
400	Pd	58	42.1
	Fe	42	57.9
500	Pd	62	46.2
	Fe	38	53.8
600	Pd	58.2	42.3
	Fe	41.8	57.7
700	Pd	56.5	40.6
	Fe	43.5	59.4
800	Pd	55	39.1
	Fe	45	60.9
900	Pd	56	40.1
	Fe	44	59.9

Despite the fact that reflexes of the iron-containing phase are not observed on the diffractograms, it can be assumed that iron acetylacetonate starts to decompose to  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  at a given temperature.

At the diffraction maxima (111) of the samples obtained at 200, 250 and 300 °C, a shoulder is observed from the side of smaller angles (Fig. 3). The peaks are shifted toward smaller angles compared to higher temperatures and are located between PdH hydride and pure Pd dashed lines. According to most researchers, palladium and hydrogen form two limited solid solutions: an  $\alpha$ -solid solution containing approximately 30 volumes of hydrogen per volume of palladium at room temperature;  $\beta$ -solid, containing at room temperature 1023 - 1300 volumes of hydrogen per 1 volume of palladium [27].

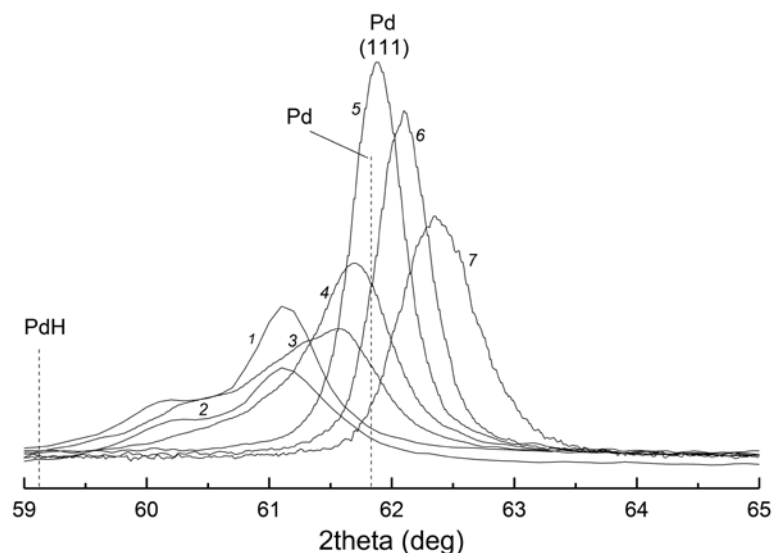


Fig. 3 – Small-angle region of XRD patterns of IR-PAN/Fe-Pd nanocomposite. The left vertical line is corresponding to PdH, right line - pure Pd

As hydrogen dissolves in palladium, the lattice parameters continuously increase from 0.3889 to 0.3895 nm. When the atomic ratio of H:Pd reaches about 0.02 (the maximum for a solid solution), a  $\beta$  phase appears, which has a lattice constant of approximately 0.4025 nm.

Both phases exist up to a ratio of H/Pd = 0.58, at which the structure of the  $\alpha$ -solid solution completely disappears. A further increase in the hydrogen content causes the expansion of the  $\beta$ -phase lattice parameters. At a ratio of H/Pd = 0.70 and a temperature of 25 °C, the parameters of the  $\beta$ -phase lattice reach 0.4040 nm.

With increasing temperature, the maximum ratio of H/Pd at which there is an  $\alpha$ -solid solution increases, whereas the minimum ratio at which the  $\beta$ -phase exists is reduced. At temperatures above 300 °C there is only one solid solution. The hydrogen-saturated palladium decreases its specific gravity, the electrical conductivity, the strength and elongation decrease as compared to pure palladium.

Palladium is well known for dissolving hydrogen very readily [16], [17], [27]. At temperatures of 200-300 °C, the amount of hydrogen in the metal reaches 655 volumes. In this case, the solid solution of introduction is formed leading to an increase of the solvent lattice period. Therefore, the shift of the diffraction maximum toward smaller angles and its bifurcation occurs due to the formation of a hydrogen solution in palladium of two dominant concentrations.

The current study of the structure of the obtained materials shows that as the IR annealing temperature increases, the peak corresponding to palladium shifts toward larger angles and becomes more intense, narrow and symmetrical (Fig. 3). The changes in the crystal lattice of palladium can be caused by the following reasons: dissolution of hydrogen, dissolution of iron and, so-called, size factor. The lattice period is increased by the dissolution of hydrogen and is decreased by the dissolution of iron. In most cases [28], the nanoparticle size reduction leads to the decrease of the crystal structure parameters.

Table 3 – Values of lattice constants of palladium phase in PAN/Fe-Pd nanocomposites

Synthesis temperature, °C	Lattice constant a, nm
100	0.3889
150	0.3848
200	0.3867
250	0.3887
300	0.3885
400	0.3863
500	0.3855
600	0.3845
700	0.3833
800	0.3809
900	0.3791
bulk	0.3890
Ultradispersed nanodiamond-supported Pd [17]	0.3881

XRD analysis has shown (Table 3) that most part IR-PAN/Fe-Pd nanocomposites have a smaller lattice constant of fcc Pd phase than the value corresponding to bulk palladium [29] due to either iron dissolution or size factor, or both these reasons.

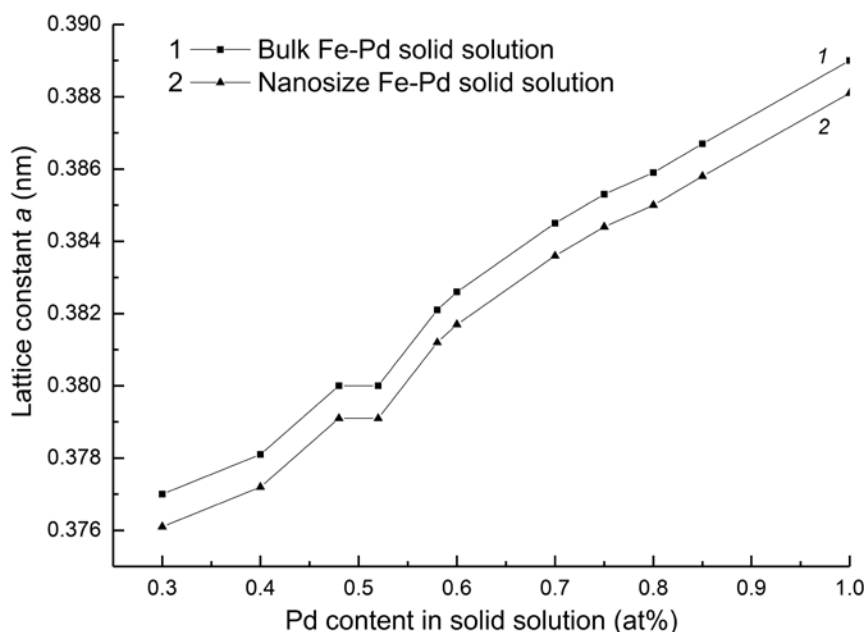


Fig. 4 – The dependence of the lattice constant of palladium on the amount of iron in bulk (1) and nanosize (2) solid solution

The estimated dependence of the change of the lattice constant of nanoscale palladium on the amount of iron dissolved (Fig. 4) is determined applying the lattice constant value of ultradispersed nanodiamond-supported palladium, according to which the composition of the resulting metallic phase is quantitatively evaluated. The results of the calculation are given in

Table 4 and show that the iron content in the solid solution increases with the pyrolysis temperature and at 800-900 °C is equal to the elemental composition of the samples (Table 2).

Table 4 – The estimation of the solid solution composition of iron in palladium as a function of the IR pyrolysis temperature

Synthesis temperature, °C	Solid solution composition Fe:Pd, at%
300	-
400	13 : 87
500	17 : 83
600	24 : 76
700	32 : 68
800	42 : 58
900	47 : 53

It can be suggested that at the synthesis temperature of 300-700 °C a solid solution of iron in palladium has a composition close to elemental. The difference between the compositions is caused by the dissolution of hydrogen in palladium, which increases the lattice period, thereby compensating for its decrease due to the dissolution of iron. The solid solution formation scheme based on the results of the study can be proposed (Fig. 5).

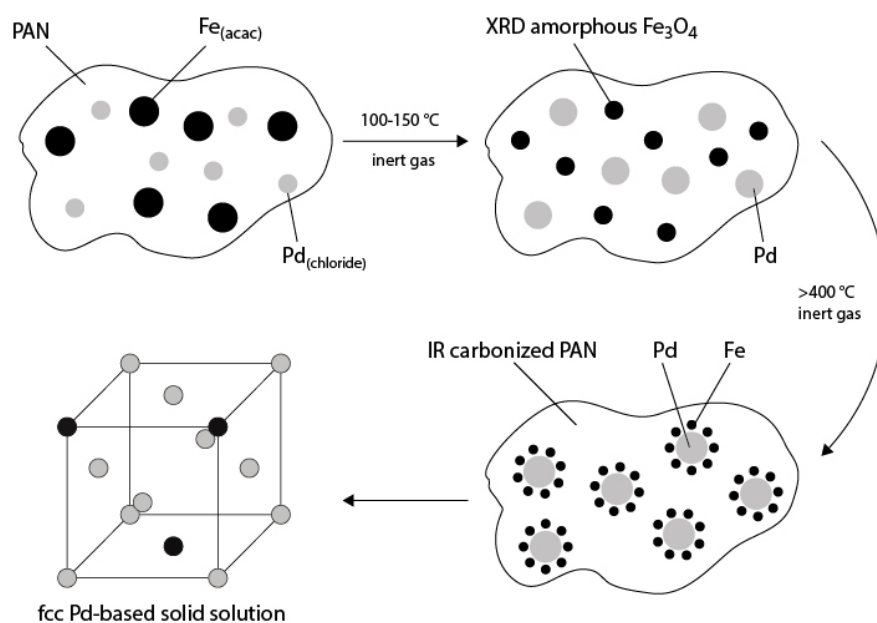


Fig. 5 – The scheme of the formation of the solid solution of iron in palladium

The pyrolysis of polyacrylonitrile at 100-150 °C leads to a release of hydrogen from the backbone polymer chain. Therefore, palladium chloride reduction starts immediately since the thermodynamic equilibrium temperature of this reaction is below 0 °C. The metallic iron appears in the samples at temperatures above 400 °C. In this case, it is advantageous to employ palladium nanoparticles as a substrate for the iron phase nuclei. Since palladium and iron form a continuous series of solid solutions, Fe atoms dissolve in Pd forming a nanosized solid solution.

### Conclusion

Thus, the method of IR pyrolysis of the precursor based on a polymer and metal salts led to significant reduction of synthesis time was proposed. The polyacrylonitrile-based metal-carbon nanocomposite C-Fe-Pd was obtained via IR-annealing. The effect of synthesis conditions on the metal-carbon nanocomposite structural characteristics was shown. It was found that the crystallite size of the metallic rounded shape nanoparticles immobilized in the carbonized polymer matrix increases as synthesis temperature rises. Furthermore, it has been determined that in this system a solid solution of iron in palladium is formed at all annealing temperatures studied. The lattice constant of a solid solution based on fcc-Pd in an IR-PAN/Fe-Pd nanocomposite is smaller than that characteristic of bulk fcc-Pd and decreases with increasing synthesis temperature.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №13 «Основы высоких технологий с использованием особенностей наноструктур в науках о природе»

### Конфликт интересов

Не указан.

### Acknowledgement

This work was supported by the Program for Basic Research of the Presidium of the Russian Academy of Sciences No.13 "Fundamentals of High Technologies Using Nanostructures in Nature Sciences".

### Conflict of Interest

None declared.

## Список литературы / References

1. Guo Z. Multifunctional Nanocomposites for Energy and Environmental Applications / Guo Z., Chen Y., Lu N. L. / Z. Guo. – Wiley-VCH, Weinheim, 2018.
2. Kulikova M. V. Fischer-Tropsch synthesis in the presence of cobalt-containing composite materials based on carbon / Kulikova M. V., Zemtsov L. M., Sagitov S. A. and others // Solid. Fuel. Chem. – 2014. – V. 48. – P. 105–111. doi:10.3103/s0361521914020074
3. Ali F. Bactericidal and catalytic performance of green nanocomposite based on chitosan/carbon black fiber supported monometallic and bimetallic nanoparticles / Ali F., Khan S. B., Kamal T. and others // Chemosphere. – 2017. – V. 188. – P. 588–598.
4. Galaburda M. V. Adsorption/desorption of explosives on Ni-, Co-, and NiCo-carbon composites: Application in solid phase extraction / Galaburda M. V., Bogatyrov V. M., Tomaszewski W. and others // Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp. – 2017. – V. 529. – P. 950–958.
5. Yu H. Design of Cu-based intermetallic nanocrystals for enhancing hydrogenation selectivity / Yu H., Tang W., Li K. and others // Chem. Eng. Sci. – 2019. – V. 196. – P. 402–413.
6. Sharma G. Novel development of nanoparticles to bimetallic nanoparticles and their composites: A review / Sharma G., Kumar A., Sharma S. and others // J. King Saud Univ - Sci. – 2017. V. 31. – P. 257–269.
7. Chen M. Preparation of Au–Ag bimetallic nanoparticles for enhanced solar photothermal conversion / Chen M., He Y., Zhu J. and others // Int. J. Heat Mass. Transf. – 2017. – V. 114. – P. 1098–1104.
8. Laursen A. B. Availability of elements for heterogeneous catalysis: Predicting the industrial viability of novel catalysts / Laursen A. B., Sehested J., Chorkendorff I. and others // Chinese J. Catal. – 2018. – V. 39. – P. 16–26.
9. Alvi M. A. An effective and low cost PdCe bimetallic decorated carbon nanofibers as electro-catalyst for direct methanol fuel cells applications / Alvi M. A., Akhtar M. S. // J. Alloys Compd. – 2016. – V. 684. – P. 524–529.
10. Saha S. Graphene supported bimetallic G–Co–Pt nanohybrid catalyst for enhanced and cost effective hydrogen generation / Saha S., Basak V., Dasgupta A. and others // Int. J. Hydrogen Energy. – 2014. – V. 39. – P. 11566–11577.
11. Luo M. Effect of Palladium on Iron Fischer–Tropsch Synthesis Catalysts / Luo M., O'Brien R., Davis B.H. // Catal. Letters. – 2004. V. 98. – P. 17–22.
12. Minnermann M. Role of Palladium in Iron Based Fischer–Tropsch Catalysts Prepared by Flame Spray Pyrolysis / Minnermann M., Pokhrel S., Thiel K. and others // J. Phys. Chem. C. – 2011. – V. 115. – P. 1302–1310.
13. Goula M. A. Hydrogen production by ethanol steam reforming over a commercial Pd/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst / Goula M. A., Kontou S. K., Tsiakaras P. E. // Appl. Catal. B Environ. – 2004. V. 49. – P. 135–144.
14. Abrokwhah R. Y. Comparative performance of M-MCM-41 (M: Cu, Co, Ni, Pd, Zn and Sn) catalysts for steam reforming of methanol / Abrokwhah R. Y., Deshmane V. G., Kuila D. // J. Mol. Catal. A Chem. – 2016. V. 425. – P. 10–20.
15. Lo Vecchio C. Carbon-supported Pd and Pd-Co cathode catalysts for direct methanol fuel cells (DMFCs) operating with high methanol concentration / Lo Vecchio C., Sebastián D., Alegre C. // J. Electroanal. Chem. – 2018. – V. 808. – P. 464–473.
16. Campesi R. Hydrogen storage properties of Pd nanoparticle/carbon template composites / Campesi R., Cuevas F., Gadiou R. and others // Carbon N. Y. – 2008. – V. 46. – P. 206–214.
17. Efimov M. N. Structural variation in palladium nanoparticles of the C-Pd system when dissolving hydrogen in them / Efimov M. N., Nekrasova A. A., Dzidziguri E. L. and others // Crystallogr. Reports. – 2012. V. 57. – P. 569–573.
18. Chokprasombat K. Morphological alteration and exceptional magnetic properties of air-stable FeCo nanocubes prepared by a chemical reduction method / Chokprasombat K., Harding P., Pinitsoontorn S. and others // J. Magn. Mater. – 2014. – V. 369. – P. 228–233.
19. Yasuda H. Y. Microstructure control for developing Fe-Pd ferromagnetic shape memory alloys / Yasuda H. Y., Komoto N., Ueda M. and others // Sci. Technol. Adv. Mater. – 2002. – V. 3. P. 165–169.
20. Zemtsov L. M. Carbon nanostructures based on IR-pyrolyzed polyacrylonitrile / Zemtsov L. M., Karpacheva G. P., Efimov M. N. and others // Polym. Sci. - Ser. A. – 2006. – V. 48. – P. 633–637.
21. Vasilev A. A. Metal-carbon nanosystem IR-PVA/Fe-Co for catalysis in the Fischer-Tropsch synthesis / Vasilev A. A., Dzidziguri E. L., Ivantsov M. I. and others // J. Phys. – 2016. – V. 741. – P. 12186.
22. Fan T. E. Structure and stability of Fe-Pt bimetallic nanoparticles: Initial structure, composition and shape effects / Fan T. E., Liu T. D., Zheng J. W. and others // J. Alloys Compd. – 2016. – V. 685. – P. 1008–1015.
23. Kuznetsov V. L. Mechanism of Coking on Metal Catalyst Surfaces: I. Thermodynamic Analysis of Nucleation / Kuznetsov V. L., Usol'tseva A. N., Butenko Y. V. // Kinet. Catal. – 2003. – V. 44. – P. 726–734.
24. Esconjauregui S. The reasons why metals catalyze the nucleation and growth of carbon nanotubes and other carbon nanomorphologies / Esconjauregui S., Whelan C. M., Maex K. // Carbon N. Y. – 2009. – V. 47. – P. 659–669.
25. Hansen M. Constitution of Binary Alloys / M. Hansen. – McGraw-Hill, New York, 1958.
26. Kubaschewski von Goldbeck O. Iron—Binary Phase Diagrams / O. Kubaschewski von Goldbeck O. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1982.
27. Johansson M. Hydrogen adsorption on palladium and palladium hydride at 1 bar / Johansson M., Skúlason E., Nielsen G. and others // Surf. Sci. – 2010. – V. 604. – P. 718–729.
28. Petrunin V. F. Structural characterization of ultra dispersed (nano-) materials as intermediate between amorphous and crystalline states / V.F. Petrunin // Nanostructured Mater. – 1999. – V. 12. – P. 1153–1156.
29. Pearson W. B. A Handbook of Lattice Spacings and Structures of Metals & Alloys / W.B. Pearson. – London: Pergamon Press, 1958.