

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ  
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL  
JOURNAL OF APPLIED  
AND FUNDAMENTAL  
RESEARCH**

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

Двухлетний импакт-фактор  
РИНЦ = 0,520

Пятилетний импакт-фактор  
РИНЦ = 0,259

**№ 4 2023**

Научный журнал  
Scientific journal

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

Электронная версия размещается на сайте [www.rae.ru](http://www.rae.ru)

The electronic version takes places on a site [www.rae.ru](http://www.rae.ru)

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

*к.м.н. Н.Ю. Стукова*

*Ответственный секретарь*

*к.м.н. М.Н. Бизенкова*

**EDITOR**

*Natalia Stukova*

*Senior Director and Publisher*

*Maria Bizenkova*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ  
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED  
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

**Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.**

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

**Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.**

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

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,520.**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,259.**

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

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

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

**ISSN 1996-3955**

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

E-mail: [edition@rae.ru](mailto:edition@rae.ru)

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Е.Н. Доронкина

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

Подписано в печать – 28.04.2023

Дата выхода номера – 31.05.2023

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

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

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 9,75

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2023/4

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### СТАТЬИ

- ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ  
МЕТАБОЛИТОВ *STREPTOMYCES CREMEUS*,  
ОБЛАДАЮЩИХ ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТЬЮ  
*Ананьева Е.П., Гурина С.В., Богданова О.Ю.* ..... 7
- КОРРЕЛЯЦИИ ДИАМЕТРОВ СТРУКТУР МИКРОСОСУДИСТОГО  
РУСЛА МИОКАРДА  
*Мальхина Т.В., Музурова Л.В., Фомкина О.А., Гладилин Ю.А.* ..... 14

### МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

#### СТАТЬИ

- АНАЛИЗ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В КУРСКОЙ ОБЛАСТИ  
В ПЕРИОД С 2013 ПО 2023 ГОДЫ  
*Алферова М.Е., Пашина И.В., Алферов Д.В.* ..... 19
- ТРЕХЛЕТНИЙ ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПАЦИЕНТАМИ  
ПОСЛЕ ТРАНСПЛАНТАЦИИ РОГОВИЦЫ  
*Кабардина Е.В., Акулов С.Н., Бронникова Н.С., Коробка А.В., Брагина К.Е.* ..... 25
- ВЛИЯНИЕ БИОДЕСТРУКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ДЕТОКСИКАЦИИ  
ПОЛЛЮТАНТОВ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ  
*Тавадзе Б.Д.* ..... 29
- ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОДОЛАЗНЫХ СПУСКОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ IN SITU  
*Яхонтов Б.О.* ..... 36

#### КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

- ТЕЧЕНИЕ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ У РЕБЕНКА  
С МУКОВИСЦИДОЗОМ  
*Чиркова О.А., Ледайкина Л.В., Рузавина Е.Ф., Каминская Т.М.,  
Верещагина В.С., Ледайкина С.А.* ..... 43

#### НАУЧНЫЙ ОБЗОР

- БИОМАРКЕРЫ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ОТВЕТА И ПРОГНОЗА  
ТЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЯ ПРИ НЕСИСТЕМНОМ ЮВЕНИЛЬНОМ  
ИДИОПАТИЧЕСКОМ АРТРИТЕ  
*Хальчицкий С.Е., Грачева Ю.А., Печальнова С.А., Буслов К.Г., Виссарионов С.В.* ..... 49

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

#### СТАТЬИ

- ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ УГЛЯ  
С КОМПЛЕКСНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ЦЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
*Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е.* ..... 57

---

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ  
БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ И ПРОТИВОПОЛЗНЕВЫХ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Цыганков Д.А.* ..... 62

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**СТАТЬЯ**

ПРИРОДА СИЛЫ ЛОРЕНЦА

*Карякин А.В., Карякина И.В.* ..... 68

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**СТАТЬЯ**

СИНТЕЗ НАНЕСЕННЫХ НА УГЛЕРОДНЫЙ НОСИТЕЛЬ СЕРЕБРЯНЫХ  
КАТАЛИЗАТОРОВ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

*Камбарова Г.Б.* ..... 73

---

## CONTENTS

### **BIOLOGICAL SCIENCES**

#### **ARTICLES**

- OBTAINING AND INVESTIGATION OF SECONDARY METABOLITES  
OF *STREPTOMYCES CREMEUS* WITH FUNGICIDAL ACTIVITY  
*Ananyeva E.P., Gurina S.V., Bogdanova O.Yu.* ..... 7
- CORRELATIONS OF DIAMETERS OF THE STRUCTURES  
OF THE MICROVASCULAR BED OF THE MYOCARDIA  
*Malykhina T.V., Muzurova L.V., Fomkina O.A., Gladilin Yu.A.* ..... 14

### **MEDICAL SCIENCES**

#### **ARTICLES**

- ANALYSIS OF THE POPULATION OF KURSK REGION  
IN THE PERIOD FROM 2013 TO 2023  
*Alferova M.E., Pashina I.V., Alferov D.V.* ..... 19
- THREE YEARS OF EXPERIENCE IN MONITORING PATIENTS  
AFTER CORNEAL TRANSPLANTATION  
*Kabardina E.V., Akulov S.N., Bronnikova N.S., Korobka A.V., Bragina K.E.* ..... 25
- INFLUENCE OF BIODESTRUCTORS IN THE PROCESS  
OF DETOXIFICATION OF POLLUTANTS ON CONTAMINATED SOILS  
*Tavadze B.D.* ..... 29
- PRINCIPLES OF ORGANIZATION OF DIVING DESCENTS  
FOR CONDUCTING OCEANOLOGICAL RESEARCH IN SITU  
*Yakhontov B.O.* ..... 36

#### **CLINICAL CASE**

- COURSE OF CORONAVIRUS INFECTION IN A CHILD  
WITH CYSTIC FIBROSIS  
*Chirkova O.A., Ledyakina L.V., Ruzavina Ye.F., Kaminskaya T.M.,  
Vereshchagina V.S., Ledyakina S.A.* ..... 43

#### **REVIEW**

- BIOMARKERS OF THERAPEUTIC RESPONSE AND DISEASE PROGNOSIS  
IN NON-SYSTEMIC JUVENILE IDIOPATHIC ARTHRITIS  
*Khalchitskiy S.E., Gracheva Yu.A., Pechalnova S.A., Buslov K.G., Vissarionov S.V.* ..... 49

### **TECHNICAL SCIENCES**

#### **ARTICLES**

- MAIN PRINCIPLES OF BUILDING INNOVATIVE TECHNOLOGY  
FOR PROCESSING ASH FROM COAL COMBUSTION  
WITH INTEGRATED EXTRACTION OF VALUABLE ELEMENTS  
*Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E.* ..... 57

ENVIRONMENTAL PROTECTION DURING RECONSTRUCTION  
OF SHORE PROTECTION AND ANTI-SLIDE HYDRO  
ENGINEERING STRUCTURES

*Tsygankov D.A.* ..... 62

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

**ARTICLE**

THE NATURE OF THE LORENTZ FORCE

*Karyakin A.V., Karyakina I.V.* ..... 68

**CHEMICAL SCIENCES**

**ARTICLE**

SYNTHESIS OF SILVER CATALYSTS APPLIED  
TO THE CARBON CARRIER AND STUDY  
OF THEIR PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

*Kambarova G.B.* ..... 73

СТАТЬИ

УДК 57.047

**ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ  
ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ *STREPTOMYCES CREMEUS*,  
ОБЛАДАЮЩИХ ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТЬЮ**

**Ананьева Е.П., Гурина С.В., Богданова О.Ю.**

*Санкт-Петербургский химико-фармацевтический университет СПХФУ, Санкт-Петербург,  
e-mail: bogdiolg@yandex.ru*

Исследование посвящено изучению антагонистической активности вторичных метаболитов, выделенных из мицелия штамма *Streptomyces cremeus*, в отношении фитопатогенных грибов для дальнейшего определения действующих веществ. Высшие актинобактерии имеют большое практическое значение в связи с их способностью продуцировать различные биологически активные вещества, в том числе антибиотики, применяемые во многих отраслях – медицине, ветеринарии, растениеводстве, пищевой промышленности. Стабильность штаммов-продуцентов является одним из условий получения стандартных биопрепаратов с высокой эффективностью. Уровень специфичности и биологической активности штаммов-продуцентов зависит от химической природы синтезируемых биологически активных веществ. Поэтому актуальной является проблема выделения и изучения активных компонентов метаболитного комплекса высших актинобактерий с целью создания новых эффективных биопрепаратов. Для эффективного культивирования актинобактерий необходимо получить наиболее подходящий состав питательной среды и выявить наиболее стабильный в отношении продуцируемых веществ штамм. Методом поддерживающего отбора были получены стабильные варианты стрептомицета с высокой антагонистической активностью в отношении широкого спектра фитопатогенных грибов. В результате проведенных исследований отобраны наиболее перспективные моноспоровые изоляты штамма *Str. cremeus*. Показано, что выделенный штамм обладает широкой антагонистической активностью против фитопатогенных грибов и может быть применен для получения активных фунгицидных веществ.

**Ключевые слова:** антагонистическая активность, высшие актинобактерии, стрептомицеты, питательная среда, фитопатогенные грибы

**OBTAINING AND INVESTIGATION OF SECONDARY METABOLITES  
OF *STREPTOMYCES CREMEUS* WITH FUNGICIDAL ACTIVITY**

**Ananyeva E.P., Gurina S.V., Bogdanova O.Yu.**

*Saint Petersburg University of Chemistry and Pharmacy, Saint Petersburg,  
e-mail: bogdiolg@yandex.ru*

The study is devoted to the study of the antagonistic activity of secondary metabolites isolated from the mycelium of the *Streptomyces cremeus* strain against phytopathogenic fungi for further determination of active substances. Higher actinobacteria are of great practical importance due to their ability to produce various biologically active substances, including antibiotics used in many industries – medicine, veterinary medicine, crop production, food industry. The stability of producing strains is one of the conditions for obtaining standard biologics with high efficiency. The level of specificity and biological activity of the producing strains depends on the chemical nature of the biologically active substances synthesized. Therefore, the problem of isolating and studying the active components of the metabolic complex of higher actinobacteria in order to create new effective biological products is urgent. For the effective cultivation of actinobacteria, it is necessary to obtain the most suitable composition of the nutrient medium and identify the most stable strain with respect to the substances produced. Stable streptomyces variants with high antagonistic activity against a wide range of phytopathogenic fungi were obtained by the method of supportive selection. As a result of the conducted studies, the most promising monospore isolates of the strain *Str. cremeus* were selected. It is shown that the isolated strain has a broad antagonistic activity against phytopathogenic fungi and can be used to obtain active fungicidal substances.

**Keywords:** antagonistic activity, higher actinobacteria, streptomyces, nutrient medium, phytopathogenic fungi

За последние несколько десятков лет взоры биотехнологов и микробиологов обратились к высшим актинобактериям, имеющим большое практическое значение в связи с их способностью продуцировать различные биологически активные вещества, в том числе антибиотики, применяемые во многих отраслях – медицине, ветеринарии, растениеводстве, пищевой промышленности [1, 2].

Одной из сфер использования антагонистической активности данных бактерий является создание биологических средств защиты растений от фитопатогенных аген-

тов [3]. Наибольшее значение в создании данных средств имеют стрептомицеты – продуценты вторичных метаболитов с различными ингибирующими, фунгицидными и другими специфическими свойствами [3, 4]. Стабильность штаммов-продуцентов является одним из условий получения стандартных биопрепаратов с высокой эффективностью.

Уровень специфичности и биологической активности штаммов-продуцентов зависит от химической природы синтезируемых биологически активных веществ.

Поэтому актуальной является проблема выделения и изучения активных компонентов метаболитного комплекса высших актинобактерий с целью создания новых эффективных биопрепаратов.

При получении высокоактивных биопрепаратов большое значение имеет подбор питательной среды, которая обеспечивает оптимальный рост и размножение бактерий, что приводит к увеличению выхода целевого продукта. В настоящее время при оптимизации состава питательных сред широко используют математический метод планирования экспериментов [5, 6].

Цель работы: на основе изучения спонтанной изменчивости штамма *Streptomyces cremeus* выделить активные клоны с высокой антагонистической активностью и изучить ингибирующее действие фракций экстракта биомассы штамма в отношении фитопатогенных грибов для дальнейшего определения действующих веществ.

#### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлся штамм *Streptomyces cremeus*, выделенный Ю.Е. Коновым из почвенного образца (Армения) [7]. Штамм относится к высшим актинобактериям и представляет собой грамположительные бактерии с ветвящимся мицелием и спорами на прямых спораносцах. Стрептомицеты *Streptomyces cremeus* – мезофильные, аэробные, нейтрофильные, но с широким диапазоном толерантности к рН, хемоорганотрофные, каталазоположительные, медленно растущие прокариоты. На агаризованных питательных средах требуют присутствия глюкозы и создают белый пушистый мицелий [8]. Используемые в работе питательные среды представлены в таблице 1.

Оптимизация состава питательной среды для культивирования штамма проводилась путем изменения концентрации

двух основных компонентов: глюкозы – источника углерода – и соевой муки – источника азота. Матрицу составляли с шагом  $\lambda = 0,5$ , в диапазоне от 9,00 до 11,00 г каждого компонента на 1 л воды. Таким способом исследовали 25 вариантов питательной среды, отличающихся по количеству источника углерода и азота.

Определение массы сухого мицелия проводили после ферментации. Для этого культуральную жидкость центрифугировали (3000 об/мин, 20 мин), фильтровали на вакуум-фильтре и сушили при  $t = 22-24^{\circ}\text{C}$  в течение 3 суток.

Для выявления влияния различных факторов на выход мицелия были определены эффекты исследуемых факторов. Эффект определенного уровня фактора равен разнице среднего значения выхода мицелия во всех опытах, где данный фактор находился на этом уровне, и среднего значения выхода для всей серии опытов (формула 1).

$$E_i = m_{\text{миц. ср. } i} - m_{\text{миц. ср. } \cdot} \quad (1)$$

где  $E_i$  – эффект определенного уровня фактора;

$m_{\text{миц. ср. } i}$  – среднее значение выхода мицелия во всех опытах, где данный фактор находился на этом уровне, г;

$m_{\text{миц. ср. } \cdot}$  – среднее значение выхода мицелия для всей серии опытов, г.

Изменение состава питательной среды могло влиять на выход мицелия и на синтез метаболитов, определяющих антагонистическую активность данного штамма, поэтому проводили их экстрагирование из сухого мицелия этиловым спиртом в течение 1 часа. Экстракт в количестве 0,1 мл наносили на бумажные диски и высушивали на воздухе. Оценку антагонистической активности проводили на тестовых фитопатогенных грибах *Alternaria alternata* и *Fusarium graminearum* методом диффузии в агар.

Таблица 1

Питательные среды и режимы стерилизации для культивирования стрептомицетов

Название питательной среды	Состав, г на 1 л воды	Режим стерилизации
Среда 19/6 [5]	Кукурузный экстракт – 10,4 Крахмал картофельный растворимый – 10,0 ( $\text{NH}_4$ ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 3,0; NaCl – 3,0; CaCO <sub>3</sub> – 3,0 Агар микробиологический – 20,0 Вода водопроводная – 1 л	0,8 атм 30 мин
Среда №5	Соевая мука – 10,0; Глюкоза – 10,0; NaCl – 5,0 CaCO <sub>3</sub> – 3,0; Вода водопроводная – 1 л	0,5 атм 30 мин
Среда Чапека с сахарозой	Сахароза – 20,0; K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> – 1,0; NaNO <sub>3</sub> – 2,0 KCl – 0,5; Вода водопроводная – 1 л	0,6 атм 30 мин
Среда МПА	Мясо-пептонный бульон – 1 л Агар-агар – 20 г	0,5 атм 30 мин

*Посев и культивирование штамма* проводили поверхностным и глубинным способами на искусственной агаризованной среде 19/6 в течение 7 суток при температуре 28°C. Глубинное культивирование осуществляли в колбах Эрленмейера на 750 мл, содержащих 100–120 мл ферментационной среды № 5. Колбы с засеянным штаммом с плотной питательной среды устанавливали на качалку (220 об/мин) и инкубировали при  $t = 27 - 28^\circ\text{C}$  в течение 4 суток.

*Отбор вариантов с антагонистической активностью* против грибов-фитопатогенов проводили поэтапно.

На первом этапе работы изучали популяционный состав штамма, для чего был произведен первый моноспоровый рассев для получения изолированных колоний на агаризованной питательной среде с кукурузным экстрактом и крахмалом в чашках Петри. Через 7 суток роста при  $t = 28^\circ\text{C}$  выросшие изолированные колонии пересеивали в пробирки со скошенной средой 19/6. Для дальнейшей работы отбирали наиболее характерные морфологические варианты. Для повышения целевой активности вариантов проводили 3 повторных моноспоровых рассева для получения изолированных колоний.

На втором этапе проводили ферментацию в колбах Эрленмейера на 750 мл, содержащих 100–120 мл ферментационной среды № 5. Колбы с засеянным штаммом с плотной питательной среды устанавливали на качалку (220 об/мин) и инкубировали при  $27-28^\circ\text{C}$  в течение 5 суток. После проведенной ферментации определяли антагонистическую активность культуральной жидкости. Опыты проводили в 3 повторностях.

Для третьего этапа работы выбирали наиболее активный вариант по признаку антагонистической активности и использовали его для получения сухого экстракта. После проведения экстракции исследовали зависимость антагонистической активности от концентрации сухого экстракта. Использовали концентрации 0,1, 0,25 и 0,5 мг/мл.

*Экстрагирование для выделения активного метаболитного комплекса*, продуцируемого штаммом, проводили в три этапа.

Первое экстрагирование. От культуральной жидкости штамма, полученной на 5-е сутки роста, отделяли мицелий с помощью центрифуги (3000 об/мин, 20 минут). Отделенный мицелий экстрагировали этиловым спиртом в соотношении 1:5 в течение 30 минут при постоянном перемешивании (500 об/мин). Далее фильтровали спиртовой экстракт на вакуум-фильтре, концен-

трировали на ротационном испарителе при  $t=45-55^\circ\text{C}$  и 0,03–0,005 Мпа, высушивали в сушильном шкафу в течение 1 суток при  $t=35^\circ\text{C}$ . В результате получали лабораторный образец биопрепарата, представляющий собой гигроскопичный порошок, который хранили в стеклянных бюксах в вакуум-эксикаторе при  $t = +4\pm 2^\circ\text{C}$ . Для оценки инсектицидной и антагонистической активности лабораторный образец использовали без дополнительной очистки. Часть этанольного экстракта отобрали для исследования биологической активности. Оставшийся экстракт использовали на следующем этапе.

Второе экстрагирование. Сухой этанольный экстракт экстрагировали этилацетатом в соотношении 1:35 в течение 20 мин на ультразвуковой ванне. Экстракт концентрировали на ротационном испарителе при  $t = 45-55^\circ\text{C}$  и давлении 0,03–0,005 МПа до сухого остатка и отбирали половину для исследования активности. Дополнительно проводили отбор водной части экстракта до упаривания.

Третье экстрагирование проводили метанолом по методике, аналогичной предыдущей.

*Метод колоночной хроматографии* был применен для выделения отдельных компонентов активного комплекса из сухого экстракта. В качестве сорбента применяли силикагель. Для более эффективного разделения смеси метаболитов штамма *Str. cremeus* использовали градиентное элюирование, начинали разделять неполярным растворителем (гексан), далее постепенно увеличивали полярность смеси и переходили к высокополярным растворителям. Объем элюента для каждой фракции составлял 50 мл.

Перед заполнением колонки сорбент (35 мл) заливали гексаном. Растворяли исследуемый экстракт (200 мг) в этиловом спирте (5 мл) на ультразвуковой ванне, далее наносили на сухой силикагель (5 мл) и вносили в колонку на силикагель с гексаном. Растворители в указанном порядке наносили на колонку. В ходе работы были отобраны аликвоты из каждой фракции (10 мл) для анализа инсектицидной и фунгицидной активностей.

*Оценку фунгицидной активности экстрактов из стрептомицета* проводили методом диффузии в агар. Экстракты растворяли в воде в концентрации 0,1, 0,25 и 0,5 мг/мл. Оценку активности культуральной жидкости проводили без разведения. Антагонистическую активность полученного раствора определяли методом лунок

по диаметру зон задержки роста тест-культур фитопатогенных микроорганизмов. Для оценки активности в чашках Петри с агаризованной средой Чапека или МПА, засеянной тест-культурами, делали лунки с помощью стандартного бура ( $d=5$  мм), а затем в лунки пастеровской пипеткой вносили испытуемый раствор. Чашки инкубировали при  $t=28^{\circ}\text{C}$ . Зоны задержки роста фитопатогенных бактерий замеряли через 24–48 ч, а грибов – через 3–5 суток после засева. В качестве тест-объектов использовали:

– фитопатогенные грибы из Государственной коллекции ВИЗР: *Alternaria alternata* (Keissler, 1912), *Bipolaris sorokiniana* (Shoemaker 1959), *Botrytis cinerea* (Persoon, 1797), *Colletotrichum falcatum* (Went 1893), *Colletotrichum lagenarium* (Ellis & Halsted, 1893), *Fusarium culmorum* (Sass, 1892), *F. graminearum* (Schwabe, 1839), *F. redolence*, *F. sambucinum* (Brondeau, 1855), *F. solani* (Sass, 1881), *F. sporotrichella*;

– условно-патогенные дрожжи *Candida albicans* (Berkhout, 1923) ATCC 10231.

Для сравнения и контроля использовали тестовые бактериальные штаммы: *Escherichia coli* ATCC 8739, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538.

Статистическую обработку результатов проводили методом вариационной статистики с вычислением среднего арифметического для каждой группы опытов и стандартного отклонения от среднего арифметического. Достоверность различий между контрольными и опытными измерениями оценивали с помощью критерия Стьюдента [9, 10].

### Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе выявления наиболее активных вариантов проводили оценку антагонистической активности *Str. cremeus* в отношении грибов *Fusarium graminearum* и *Alternaria alternata* (рис. 1).

В большинстве исследуемых вариантов можно отметить высокую антагонистическую активность в отношении фитопатогенных грибов. Следует выделить варианты № 5, 6, 12, 13 и 24 с наибольшими значениями размеров зон задержки роста тест-культур. Варианты № 13 и 24 также отличаются максимальным выходом мицелия. На основании этих результатов и экономической целесообразности для дальнейшей работы был отобран вариант питательной среды № 13: 10,00 г глюкозы, 10,00 г соевой муки, 5,0 г NaCl, 3,0 г CaCO<sub>3</sub>. *Str. cremeus* на среде 19/6 формирует следующий устойчивый морфологический вариант колоний. Изучаемый штамм обладает высокой фунгицидной активностью (рис. 2), и культуральная жидкость активна в отношении фитопатогенных грибов. Скрининг осуществляли на двух видах грибов для определения антагонистической активности культуральной жидкости всех выделенных вариантов. В качестве тест-грибов использовали возбудителей опасных заболеваний растений грибы *Botrytis cinerea* и *Fusarium culmorum*, которые удобно использовать для скрининга, поскольку они обладают высокой скоростью роста. По результатам экспериментов были отобраны 6 наиболее активных вариантов. Результаты представлены на рисунке 2.

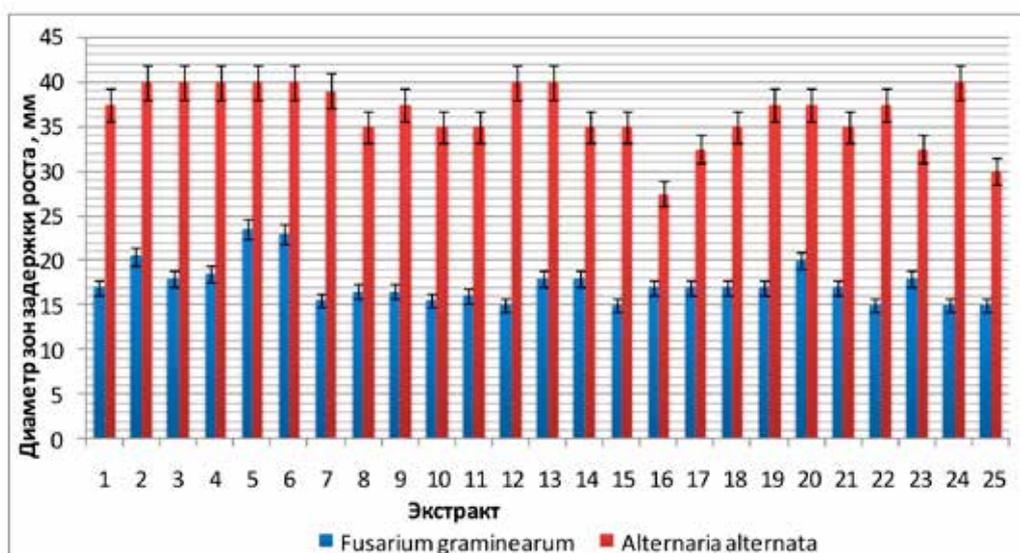


Рис. 1. Антагонистическая активность экстрактов штамма *Str. cremeus* в отношении грибов *F. graminearum* и *A. alternata*

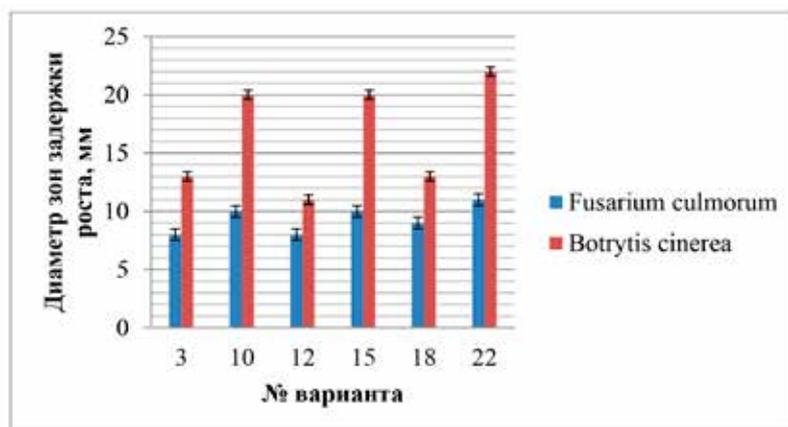


Рис. 2. Антагонистическая активность культуральной жидкости штамма *Str. cremeus biovar. octemberanun var. nov. 729* на культуры *Fusarium culmorum* и *Botrytis cinerea*

Полученные данные свидетельствуют о высокой антагонистической активности полученных вариантов в отношении *Botrytis cinerea*. Варианты № 10, 15, 22 проявили наибольшую активность – диаметры зон задержки роста от 20 до 22 мм. Варианты № 3, 12, 18 обладают несколько меньшей активностью – диаметры зон задержки роста от 11 до 13 мм. Активность в отношении *Fusarium culmorum* была ниже: диаметр зон задержки роста составлял от 8 до 11 мм. Вариант № 22 проявил максимальную фунгицидную активность – диаметр зон задержки роста 11–22 мм.

Поскольку среди грибов рода *Fusarium* имеется значительное число фитопатогенных видов, то на следующем этапе решили расширить спектр тестовых фитопатогенных видов (табл. 2 и 3).

Вариант № 22 проявил высокую активность в отношении всех грибов рода

*Fusarium*. Диаметр зон задержки роста составлял от 9 до 15 мм. Тем самым показано, что вариант № 22 обладает высокой фунгицидной активностью в отношении всех тест-грибов. Для дальнейшей работы был выбран именно он. После проведения экстракции биологически активного вещества по описанной методике исследовали его антагонистическую активность в отношении широкого спектра грибов (рис. 3).

Оценка антагонистической активности экстракта варианта № 22 показала, что имеется зависимость активности от концентрации экстракта: при использовании концентрации 0,1 мг/мл диаметр зон задержки роста составил от 11 до 50 мм, а при концентрации 0,5 мг/мл – от 14,5 до 50 мм. Максимальная активность была обнаружена против гриба *Alternaria alternata*.

Таблица 2

Антагонистическая активность культуральной жидкости штамма *Str. cremeus biovar. octemberanun var. nov. 729* на фитопатогенные грибы рода *Fusarium*

№	№ варианта	Диаметр зон задержки роста, мм				
		<i>F. graminearum</i>	<i>F. redolence</i>	<i>F. sambucinum</i>	<i>F. solani</i>	<i>F. sporotrichella</i>
1	Исх. штамм*	–	–	–	–	–
2	3	9±0,1	11±0,09	10±0,12	7±0,08	12±0,09
3	10	8±0,08	12±0,1	12±0,08	9±0,09	14±0,1
4	12	8±0,08	11±0,09	10±0,09	8±0,1	13±0,09
5	15	9±0,09	10±0,11	12±0,12	8±0,09	15±0,12
6	18	9±0,1	9±0,09	11±0,09	7±0,08	12±0,08
7	22	10±0,09	12±0,09	13±0,1	9±0,11	15±0,08

\*Исходный штамм потерял свою фунгицидную активность в результате хранения в связи с длительным перерывом между посевами. Наша задача состояла в выделении активного варианта.

Таблица 3

Антагонистическая активность культуральной жидкости штамма *Str. cremeus biovar. octemberanum var. nov. 729* на фитопатогенные грибы

№	№ варианта	Диаметр зон задержки роста, мм			
		<i>Alt. alternata</i>	<i>B. sorokiniana</i>	<i>Col. falcatum</i>	<i>Col. lagenarium</i>
1	Исх. штамм	–	–	–	–
2	3	8±0,08	13±0,08	13±0,09	12±0,1
3	10	10±0,1	15±0,1	14±0,1	11±0,12
4	12	9±0,09	15±0,12	12±0,08	10±0,09
5	15	9±0,08	13±0,1	14±0,12	12±0,1
6	18	9±0,1	13±0,09	13±0,08	11±0,08
7	22	10±0,11	14±0,08	15±0,12	11±0,08

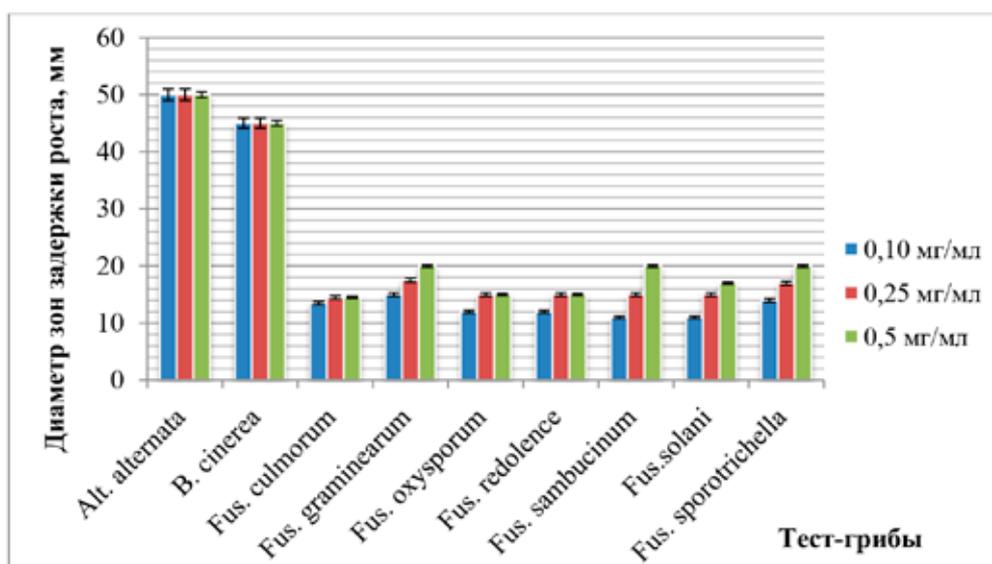


Рис. 3. Антагонистическая активность экстракта штамма *Str. cremeus biovar. octemberanum var. nov. 729* в отношении фитопатогенных грибов

### Заключение

В результате поддерживающего отбора штамма *Str. cremeus* было выделено 120 моноклоновых изолятов, которые были охарактеризованы по культурально-морфологическим признакам, из них 95% – основного типа. Выявлены варианты, обладающие широким спектром антифунгальной активности. Отобран вариант № 22, который отличается значительной интенсивностью роста, продуктивностью и высокой эффективностью антифунгального действия. На основе варианта № 22 получен сухой спиртовой экстракт мицеллы, содержащий метаболитный комплекс с высокой антифунгальной активностью.

### Список литературы

- Куликова Н.Г. Разработка селективных методов выделения актинобактерий – потенциальных продуцентов антибиотиков из различных экологических систем: дис. ... докт. биол. наук. Москва, 2017. 24 с.
- Трипожникова Л.П., Баймаханова Г.Б., Балгимбаева А.С., Баймаханова Б.Б., Смирнова И.Э., Файзулина Э.Р., Спанкулова Г.А., Татаркина Л.Г., Момбекова Г.А., Елубаева А.Е., Айткельдиева С.А., Тлеубекова Д.А. Биотехнологический потенциал экстремофильных актиномицетов для медицины и стратегии его открытия // Микробиология и вирусология. 2021. № 4 (35). С. 4-11.
- Демьянкова М.В., Садыкова М.В., Демьянкова В.С., Глухова А.А., Бойкова Ю.В., Малкина Н.Д., Ефименко Т.А., Иванкова Т.Д., Терехова Л.П., Ефременкова О.В. Исследование продуцентов природных противогрибковых антибиотиков, активных в отношении фитопатогенных грибов // Научный журнал КубГАУ. 2020. № 159. С. 147-164.

4. Трипожникова Л.П., Балгимбаева А.С., Ултанбекова Г.Д., Галимбаева Р.Ш. Противогрибковая активность в отношении патогенов зерновых культур и изучение антибиотического штамма *Streptomyces* sp. K-541, выделенного из экстремальных экосистем Казахстана // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53, № 1. С. 96-102.
5. Кареткин Б.А., Катаева Т.С., Баурин Д.В., Грошева В.Д., Шакир И.В., Панфилов В.И. Факторный эксперимент по оптимизации условий предварительной обработки питательной среды // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-1. С. 13-19.
6. Ананьева Е.П., Богданова О.Ю., Гурина С.В. Многофакторный эксперимент по определению оптимальных диапазонов микроволнового излучения, активизирующих рост дрожжей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022. № 1. С. 12-17.
7. Березюк Ю. Биосинтетические свойства *Streptomyces fradiae* cmn-11 и физиологические эффекты биомассы на организм теплокровных животных (крыс): дис.... докт. биол. наук. Кишинев, 2019. 144 с.
8. Howard L., Omran S. Optimization of medium composition for antibacterial metabolite production from *Streptomyces* sp. // Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 2017. Vol. 10(9). P. 381.
9. Кожевников С.П. Алгоритмы биологической статистики: учебное пособие. Ижевск, 2018. 75 с.
10. Андрюков Б.Г., Тимченко Н.Ф. Данные микробиологических исследований как объект статистического анализа // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2015. №2(60). С. 33-39.

## КОРРЕЛЯЦИИ ДИАМЕТРОВ СТРУКТУР МИКРОСОСУДИСТОГО РУСЛА МИОКАРДА

<sup>1</sup>Малыхина Т.В., <sup>2</sup>Музурова Л.В., <sup>2</sup>Фомкина О.А., <sup>2</sup>Гладилин Ю.А.

<sup>1</sup>Частное учреждение образовательная организация высшего образования  
«Медицинский университет “Реавиз”», Самара, e-mail: malyhinatv@list.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского»  
Минздрава России, Саратов, e-mail: Lmuzurova@yandex.ru

Материалом исследования послужили сердца экспериментальных животных (половозрелых беспородных белых крыс, n=45). Для изучения компонентов микроциркуляторного русла миокарда были использованы методы, позволяющие выявить их морфологические особенности и провести оценку их взаимоотношений. Использовали методы монохромной и бихромной инъекции сосудистого русла взвесей парижской синей в хлороформе и киновари в скипидаре с последующим изучением просветленных препаратов, а также сочетание инъекционных методов с гистологической окраской препаратов гематоксилином и эозином. Для измерения диаметров структур микроциркуляторного русла проводили изготовление коррозионных препаратов сосудов, а также использовали люминисцентно-микроскопический метод, выявляющий изучать структуры микроциркуляторного русла миокарда на их достаточном протяжении. Изучение структур микроциркуляторного русла миокарда проводили в его поверхностном, среднем и глубоком слоях. Диаметр артериол миокарда составляет в среднем 40,0–45,0 мкм, диаметр прекапилляров – 10,0–15,0 мкм, диаметр капилляров равен 4,0–6,0 мкм, диаметр посткапилляров в среднем составляет 10,0–12,0 мкм, средний диаметр венул – 24,0–31,0 мкм. Проанализировав корреляции структур микрососудистого русла слоев миокарда, мы пришли к заключению, что в его поверхностном слое нет сильных связей. Средние корреляции выявлены между диаметрами артериол и посткапилляров и между диаметрами венул и капилляров. В среднем слое миокарда сильная корреляция связывает диаметры артериол и прекапилляров. В глубоком слое миокарда диаметры всех структур микроциркуляторного русла формируют очень слабые корреляции.

**Ключевые слова:** микроциркуляторное русло миокарда, диаметр структур, корреляция

## CORRELATIONS OF DIAMETERS OF THE STRUCTURES OF THE MICROVASCULAR BED OF THE MYOCARDIA

<sup>1</sup>Malykhina T.V., <sup>2</sup>Muzurova L.V., <sup>2</sup>Fomkina O.A., <sup>2</sup>Gladilin Yu.A.

<sup>1</sup>Private institution educational organization of higher education «Medical University “Reaviz”»,  
Samara, e-mail: malyhinatv@list.ru;

<sup>2</sup>Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky Ministry of Health of Russia,  
Saratov, e-mail: Lmuzurova@yandex.ru

The material of the study was the hearts of experimental animals (sexually mature outbred white rats, n=45). To study the components of the microvasculature of the myocardium, methods were used to identify their morphological features and assess their relationship. We used the methods of monochrome and bichrome injection of the vascular bed of suspensions of Parisian blue in chloroform and cinnabar in turpentine, followed by the study of clarified preparations, as well as a combination of injection methods with histological staining of preparations with hematoxylin and eosin. To measure the diameters of the microcirculatory bed structures, corrosive vessel preparations were made, and a luminescent microscopic method was also used, which reveals to study the structures of the myocardial microcirculatory bed over their sufficient extent. The study of the structures of the microvasculature of the myocardium was carried out in its superficial, middle and deep layers. The diameter of myocardial arterioles averages 40.0–45.0 μm, the diameter of precapillaries is 10.0–15.0 μm, the diameter of capillaries is 4.0–6.0 μm, the diameter of post-capillaries averages 10.0–12.0 μm, the average diameter of venules is 24.0–31.0 μm. After analyzing the correlations between the structures of the microvascular bed of the myocardial layers, we came to the conclusion that there are no strong connections in its surface layer. Average correlations were found between the diameters of arterioles and postcapillaries and between the diameters of venules and capillaries. In the middle layer of the myocardium, a strong correlation links the diameters of arterioles and precapillaries. In the deep layer of the myocardium, the diameters of all structures of the microvasculature form very weak correlations.

**Keywords:** myocardial microvasculature, structure diameter, correlation

Болезни сердца являются наиболее распространенной причиной смерти в мире, и атеросклероз и тромбоз сосудов миокарда служат главными причинами их развития. Микрососудистое русло представляет собой совокупность особенных структур, находящихся между мелкими артериями и венами. Оно характеризуется особенными анатомо-топографическими взаимоотношениями с

окружающими его структурами, которые в дальнейшем определяют тканевые функции органа. Элементам микрососудистого русла принадлежит главная роль в развитии воспалительных реакций, в обеспечении трофической, дыхательной, экскреторной функций сердечно-сосудистой системы. Все эти процессы регулируются вегетативной нервной системой и гормонами, кото-

рые оказывают воздействие на гладкие мышечные элементы и на эндотелий, приводя к изменениям диаметров структур микроциркуляторного русла. Учитывая неоспоримую роль структур микроциркуляторного русла в обеспечении трофических процессов, в формировании воспаления, на протяжении многих лет проводят изучение их морфологических особенностей, особенностей гемодинамики, транскапиллярного обмена в различных органах и тканях [1].

Однако остается открытым вопрос о том, как изменение диаметра одной из структур микроциркуляторного русла может повлиять на диаметры других его структур.

Проведение исследований, направленных на выявление возможных корреляций между диаметрами структур микроциркуляторного русла миокарда, может иметь большое значение для понимания функционирования сердечно-сосудистой системы. Возможно, такие исследования помогут выявить особенности регуляции кровотока и изменения диаметров структур микроциркуляторного русла в различных условиях, таких как воспаление, стресс или физическая нагрузка. Кроме того, такие исследования могут быть полезны при разработке новых методов лечения сердечно-сосудистых заболеваний, которые будут учитывать особенности микроциркуляторного русла и его взаимосвязи с другими структурами сердца. Например, такие методы могут включать использование лекарственных препаратов, которые способны регулировать диаметры структур микроциркуляторного русла и тем самым улучшать кровоснабжение сердечной мышцы.

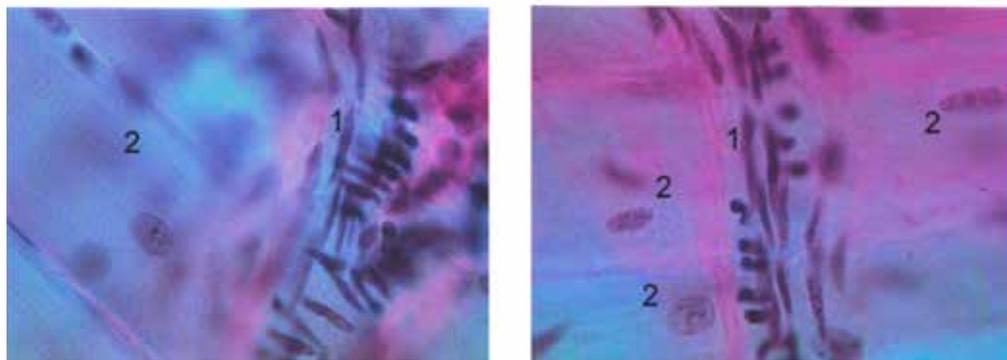
Изучение взаимосвязи между диаметрами различных структур микроциркуляторного русла миокарда может иметь практическое значение для диагностики и лечения заболеваний сердца. Например, если было бы доказано, что изменение диаметра од-

ной структуры микрососудистого русла влечет за собой изменение диаметра других структур, то это могло бы привести к разработке новых методов лечения заболеваний сердца, направленных на улучшение микроциркуляции в сердце.

Цель исследования – провести анализ корреляций диаметров структур микрососудистого русла миокарда.

#### Материалы и методы исследования

Материалом исследования послужили сердца экспериментальных животных (половозрелых беспородных белых крыс,  $n=45$ ). Исследования проводились в соответствии с российскими (приказ Министерства здравоохранения СССР № 755 от 12.08.1977 г.; методические указания Министерства здравоохранения Российской Федерации «Деонтология медико-биологического эксперимента») и европейскими (директива ЕС «О защите животных, используемых в экспериментальных и научных целях» (86/609СЕ) этическими нормативами. Для изучения компонентов микроциркуляторного русла миокарда были использованы методы [2, 3], позволяющие выявить их морфологические особенности и провести оценку их взаимоотношений. Использовали методы монохромной и бихромной инъекции сосудистого русла взвесей парижской синей в хлороформе и кинолари в скипидаре с последующим изучением просветленных препаратов, а также сочетание инъекционных методов с гистологической окраской препаратов гематоксилином и эозином. Для измерения диаметров структур микроциркуляторного русла проводили изготовление коррозионных препаратов сосудов, а также использовали люминисцентно-микроскопический метод, позволяющий изучить структуры микроциркуляционного русла миокарда на их достаточном протяжении (рисунок).



Ориентация артерий (1) по отношению к кардиомиоцитам (2) в миокарде собаки.  
а) поверхностный слой миокарда; б) глубокий слой миокарда.  
Окраска парарозанилином и толуидиновым синим. Ув.  $\times 900$

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакетов Statistica («StatSoft», США). Проверка распределений на нормальность осуществлялась с использованием критерия хи-квадрат. Достоверность различий между распределениями рассчитывали с использованием критерия Стьюдента [4].

Оценку корреляционных связей проводили по коэффициенту корреляции ( $r$ ). При  $r \leq 0,20$  корреляция считалась очень слабой, при  $r = <0,20 - \leq 0,50$  – слабой, при  $r = 0,50 - \leq 0,70$  – средней, при  $r = 0,71 - 0,90$  – сильной, при  $r = 0,90 \leq 1$  – очень сильной.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Артериолы отходят от артерий в поверхностном слое миокарда под углом  $75,0-80,0 \pm 0,06^\circ$ ; в среднем слое –  $65,0-70,0 \pm 0,07^\circ$ ; в глубоком слое –  $52,0-68,0 \pm 0,08^\circ$ . Дальнейшее ветвление артериол происходит по магистральному типу, а основной сосуд, постепенно уменьшаясь в диаметре, переходит в прекапилляр. Диаметр артериол миокарда составляет в среднем  $40,0-45,0$  мкм.

Прекапилляры миокарда в среднем имеют диаметр  $10,0-15,0$  мкм.

Капилляры формируются путем непосредственного перехода прекапилляров в капилляры или за счет их дихотомического деления. Диаметр капилляров миокарда равен  $4,0-6,0$  мкм, угол их отхождения от пре-

капиллярных артериол –  $36,0-41,0 \pm 0,04^\circ$ . Наше исследование показало, что все кровеносные капилляры расположены под незначительным углом к мышечному волокну, спирально оплетая их.

Посткапилляры образуются за счет слияния кровеносных капилляров. Их диаметр в среднем составляет  $10,0-12,0$  мкм. Они ориентированы к кардиомиоцитам под углом  $43,0-60,0 \pm 0,05^\circ$ .

Средний диаметр венул составляет  $24,0-31,0$  мкм. Они ориентированы к мышечным волокнам под углом  $64,0-78,0 \pm 0,03^\circ$ .

Корреляционный анализ диаметров микрососудов миокарда показал наличие прямых связей различной силы между изученными параметрами (таблица).

Анализ корреляций компонентов микрососудистого русла поверхностного слоя миокарда показал, что диаметр артериол связан слабой по силе корреляцией с диаметрами посткапилляров ( $r = 0,5$ ) и прекапилляров ( $r = 0,3$ ). Диаметр артериол связан с диаметром капилляров и венул очень слабой корреляцией ( $r = 0,1-0,15$ ). Диаметр прекапилляров формирует слабую положительную связь с диаметрами капилляров, посткапилляров и артериол ( $r = 0,4-0,3$ ) и очень слабую – с диаметром венул ( $r = 0,1$ ). Диаметр капилляров связан слабо с диаметрами прекапилляров, посткапилляров и венул ( $r = 0,5-0,4$ ) и очень слабо – с диаметром артериол ( $r = 0,15$ ).

Корреляции диаметров структур микрососудистого русла миокарда

Слои миокарда	Компоненты	А	ПрК	К	ПостК	В
Поверхностный	А	–	$r=0,3$	$r=0,15$	$r=0,5$	$r=0,1$
	ПрК	$r=0,3$	–	$r=0,4$	$r=0,3$	$r=0,1$
	К	$r=0,15$	$r=0,4$	–	$r=0,4$	$r=0,5$
	ПостК	$r=0,5$	$r=0,3$	$r=0,4$	–	$r=0,1$
	В	$r=0,1$	$r=0,1$	$r=0,5$	$r=0,1$	–
Средний	А	–	$r=0,75$	$r=0,18$	$r=0,1$	$r=0,1$
	ПрК	$r=0,75$	–	$r=0,3$	$r=0,3$	$r=0,1$
	К	$r=0,18$	$r=0,3$	–	$r=0,2$	$r=0,01$
	ПостК	$r=0,1$	$r=0,2$	$r=0,2$	–	$r=0,01$
	В	$r=0,1$	$r=0,1$	$r=0,01$	$r=0,01$	–
Глубокий	А	–	$r=0,1$	$r=0,05$	$r=0,2$	$r=0,1$
	ПрК	$0,1$	–	$r=0,01$	$r=0,01$	$r=0,01$
	К	$r=0,05$	$r=0,01$	–	$r=0,01$	$r=0,01$
	ПостК	$r=0,2$	$r=0,01$	$r=0,01$	–	$r=0,01$
	В	$r=0,1$	$r=0,01$	$r=0,01$	$r=0,01$	–

Примечание: А – артериола; ПрК – прекапилляр; К – капилляр; ПостК – посткапилляр; В – вена.

Диаметр посткапилляров поверхностного слоя миокарда связан слабой положительной корреляцией с диаметрами артериол, прекапилляров и посткапилляров ( $r=0,5-0,3$ ) и очень слабо – с диаметром венул ( $r=0,1$ ). Диаметр венул образует слабую положительную корреляцию только с диаметром капилляров ( $r=0,5$ ). С остальными компонентами микрососудистого русла поверхностного слоя миокарда диаметр венул связан очень слабыми корреляциями ( $r=0,1$ ).

Диаметр артериол среднего слоя миокарда формирует сильную положительную корреляцию с диаметром посткапилляров ( $r=0,75$ ). С остальными компонентами микрососудистого русла диаметр артериол связан очень слабой корреляцией ( $r=0,18-0,1$ ). Диаметр прекапилляров среднего слоя миокарда связан сильной положительной корреляцией с диаметром артериол ( $r=0,75$ ). С остальными компонентами микрососудистого русла диаметр прекапилляров связан слабой положительной корреляцией ( $r=0,1-0,3$ ). Диаметр капилляров слабо коррелирует с диаметром прекапилляров ( $r=0,3$ ). С остальными компонентами микрососудистого русла диаметр капилляров связан очень слабой положительной корреляцией ( $r=0,01-0,2$ ). Диаметры посткапилляров и венул среднего слоя миокарда коррелируют очень слабо со всеми изученными компонентами микроциркуляторного русла ( $r=0,01-0,2$ ).

Диаметры компонентов микроциркуляторного русла глубокого слоя миокарда связаны между собой очень слабыми положительными корреляциями ( $r=0,01-0,2$ ).

### Заключение

Артерии миокарда представляют собой ветви субэпикардиальных артерий, от которых отходят вторичные ветви, за счет которых и формируется микрососудистое русло. Для каждого слоя миокарда характерна закономерная ориентация сосудов по отношению к мышечным волокнам. Для обеспечения оптимального кровотока в микрососудах размер просвета сосудов уменьшается при приближении к капиллярам, а затем снова увеличивается при приближении к венулам. Это обеспечивает эффективное распределение потоков форменных элементов и плазмы крови в микрососудистых ветвлениях. Однако закономерности распределения потоков крови в микрососудах до конца еще не выяснены с биомеханической точки зрения.

Циркуляция крови по элементам микрососудистого русла характеризуется целым рядом особенностей. Это связано, прежде

всего, с тем, что кровь млекопитающих, в том числе и человека, не является однородной жидкостью [5, 6]. Она, подобно суспензиям, состоит из плазмы и взвешенных в ней форменных элементов, размеры которых близки к диаметру просвета капилляров. Из форменных элементов крови главную роль, с точки зрения реологических свойств крови, играют эритроциты, а лейкоциты и тромбоциты – второстепенную, так как их значительно меньше, а тромбоциты, кроме того, еще и меньших размеров [7, 8].

Кроме того, величина просвета микрососудов вначале уменьшается (от артериолы до капилляра), а затем снова увеличивается (от капилляра до венулы). В зависимости от этого поток крови в различных микрососудах отличается значительным своеобразием [9, 10]. Микрососудистое русло миокарда имеет уникальные особенности, связанные с регуляцией кровотока в сердечной мышце. В отличие от других органов, сердечная мышца имеет очень высокую потребность в кислороде и питательных веществах, чтобы обеспечить постоянную сократительную деятельность сердца. Поэтому регуляция кровотока в микрососудах миокарда является крайне важным механизмом, обеспечивающим адекватную перфузию сердечной мышцы.

Одной из ключевых особенностей регуляции кровотока в сердечной мышце является механизм авторегуляции – способность микрососудов сердца регулировать свой сосудистый тонус и тем самым поддерживать относительно постоянный кровоток при изменении артериального давления. Это достигается за счет взаимодействия между миоэнттерическими нервными клетками и гладкой мышцей стенок сосудов. Также важным механизмом регуляции кровотока в сердечной мышце является механизм метаболической авторегуляции. Он основан на изменении метаболического состояния сердечной мышцы и реализуется при изменении ее потребностей в кислороде и питательных веществах. При увеличении метаболических потребностей сердечной мышцы, например при физической нагрузке, происходят расширение микрососудов и увеличение кровотока в миокарде.

Кроме того, сердечная мышца имеет большое количество коллатералей – связей между артериями, которые позволяют обеспечить альтернативный путь кровотока в случае окклюзии основного кровотока. Это играет важную роль в сохранении жизни при инфаркте миокарда, когда кровоснабжение определенного участка миокарда прекращается.

Эндогенная вазомоторика является важным механизмом регуляции кровотока в микрососудах. Ритмические колебания просвета артериальных сосудов вызываются действием специальных нейрогуморальных факторов, которые воздействуют на гладкую мускулатуру в стенке сосуда. Эти факторы могут вызывать как сужение, так и расширение артериол, что приводит к изменению кровотока в соответствующих участках микрососудистого русла.

Поток крови постоянно меняется вследствие ритмических колебаний просвета сосудов – эндогенной вазомоторики. Это касается, прежде всего, артериальных компонентов микрососудистого русла, в стенках которых есть гладкие миоциты, реагирующие на различные нейрогуморальные воздействия. В меньшей степени это относится к венозным компонентам, в стенках которых гладкие миоциты могут отсутствовать, и еще меньше – к капиллярам, в стенке которых гладких миоцитов нет. Очевидно, что кровоток зависит от диаметра сосуда. Эти особенности кровотока в микрососудах в значительной степени влияют на реологические свойства движущейся крови и, в конечном итоге, на микроциркуляцию, особенно при патологических условиях.

Все компоненты микрососудистого русла подвержены искривлению в той или иной степени. Этот морфологический феномен в литературе иногда называют термином «начальное искривление». Конфигурация микрососудистого ветвления способна подстраиваться под оптимальную путем изменения диаметра и длины микрососуда. Изменение длины может происходить как в сторону увеличения (при этом степень искривления микрососуда будет уменьшаться), так и в сторону ее уменьшения (при этом степень искривления микрососуда будет увеличиваться).

Важно отметить, что искривление микрососудов является не только морфологи-

ческим, но и функциональным феноменом, который обеспечивает оптимальное распределение кровотока в организме. Кроме того, искривления микрососудов могут быть связаны с возникновением патологических состояний, таких как гипертония, диабет и атеросклероз. Проанализировав корреляции структур микрососудистого русла слоев миокарда, мы пришли к заключению, что в его поверхностном слое нет сильных связей. Средние корреляции выявлены между диаметрами артериол и посткапилляров и между диаметрами венул и капилляров. В среднем слое миокарда сильная корреляция связывает диаметры артериол и прекапилляров. В глубоком слое миокарда диаметры всех структур микроциркуляторного русла формируют очень слабые корреляции.

### Список литературы

1. Малыхина Т.В. Морфофункциональные основы гемолимфоциркуляции в сердце человека: дис. ... докт. мед. наук. Самара, 2019. 267 с.
2. Марков И.И. Импрегнация внутриорганный лимфатического русла по Ранвье // Арх. анат. 1985. № 6. С. 77-79.
3. Марков И.И. Способ исследования микрососудистого русла большого сальника. А. с. 1619100 от 08.09.1990 г.
4. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. М.: Медицина, 1990. 384 с.
5. Козлов В.И. Развитие системы микроциркуляции. М.: Изд-во РУДН, 2012. 314 с.
6. Русак Т.В., Гелис Л.Г., Медведева Е.А., Шибeko Н.А., Курганович С.А., Гайдель И.К., Геворкян Т.Т. Структурно-функциональные изменения сердца при ишемически-реперфузионном повреждении миокарда // Евразийский кардиологический журнал. 2022. № 3 (40). С. 74-82.
7. Мавликеев М., Титова А.А., Гудз Д.О., Деев Р.В. Современные методы исследования ангиогенеза в клинической практике // Наука молодых. 2017. Т. 5. № 1. С. 110-123.
8. Gutterman D.D. The human microcirculation: regulation of flow and beyond // Circ. Res. 2016. Vol. 118, № 1. P. 157-172.
9. Омеляненко К.В., Горшков А.Ю., Федорович А.А., Королев А.И., Дадаева В.А., Акашева Д.У., Драпкина О.М. Гендерные особенности микроциркуляторного русла кожи у здоровых лиц трудоспособного возраста // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. Т. 20, № 8. С. 48-55.
10. Дауни Г.Ф., Манухина Е.Б. Микрососудистые коронарные коллатерали // CardioСоматика. 2017. Т. 8, № 1. С. 23.

## СТАТЬИ

УДК 61:314.8(470.323)

**АНАЛИЗ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В КУРСКОЙ ОБЛАСТИ  
В ПЕРИОД С 2013 ПО 2023 ГОДЫ****Алферова М.Е., Пашина И.В., Алферов Д.В.***ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет»**Министерства здравоохранения Российской Федерации, Курск, e-mail: piv1424@mail.ru*

Целью исследования стало изучение динамики численности населения в Курской области в период с 2013 по 2023 г. и поиск негативных факторов существующей демографической ситуации. Изучалось соотношение сельского и городского населения в Курской области, возрастная и половая структура населения и показатель демографической нагрузки с 2013 по 2023 г. Анализ проводился по данным из статистических бюллетеней Росстата. Производился расчет относительных показателей, соотношения городского и сельского населения, удельного веса от численности населения Курской области. В Курской области отмечается снижение численности населения с 2013 по 2023 г., существенный рост удельного веса городского населения по сравнению с сельским. В регионе на протяжении всего периода наблюдения отмечается регрессивный тип населения. Выявлена позитивная динамика удельного веса населения моложе трудоспособного возраста. С 2020 г. отмечается рост удельного веса населения трудоспособного возраста и снижение – старше трудоспособного. Отмечается преобладание женского населения над мужским на протяжении всего периода наблюдения. В Курской области выявлено снижение демографической нагрузки на 1000 населения трудоспособного возраста с 2020 г.

**Ключевые слова:** демография, динамика численности населения, возрастная структура населения, гендерная структура населения, демографическая нагрузка

**ANALYSIS OF THE POPULATION OF KURSK REGION  
IN THE PERIOD FROM 2013 TO 2023****Alferova M.E., Pashina I.V., Alferov D.V.***Kursk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation,**Kursk, e-mail: piv1424@mail.ru*

The purpose of the research was to study the population dynamics in the Kursk region in the period from 2013 to 2023 and to search for negative factors in the current demographic situation. The ratio of the rural and urban population in the Kursk region, the age and gender structure of the population, and the demographic load indicator from 2013 to 2023 were studied. The analysis was carried out according to the data from the statistical bulletins of the Rosstat. The calculation of relative indicators, the ratio of urban and rural population, the proportion of the population of the Kursk region was made. In the Kursk region, there is a decrease in the population from 2013 to 2023. A significant increase in the share of the urban population compared to the rural population. A regressive type of population has been noted in the region throughout the entire observation period. The positive dynamics of the proportion of the population younger and working age has been revealed. Since 2020, the growth in the proportion of the population of working age and the decline of those older than working age. The predominance of the female population over the male population throughout the entire observation period. In the Kursk region, a decrease in the demographic burden per 1,000 working-age population has been revealed since 2020.

**Keywords:** demography, population dynamics, age structure of the population, gender structure of the population, demographic burden

Одной из национальных целей развития Российской Федерации до 2030 г. является сохранение населения, обеспечение устойчивого роста численности населения России [1, 2]. Изучение динамики численности населения, его структуры по полу, возрасту, географическому расположению является крайне важным для понимания существующей демографической ситуации, что в дальнейшем послужит основой для разработки мероприятий, направленных на рост населения и элиминации негативных факторов. Снижение численности населения, диспропорция между городским и сельским населением несет угрозу экономической устойчивости государства [3, 4]. Старение

населения, гендерная диспропорция негативно влияют на социально-экономические процессы в стране. Создается дефицит рабочей силы, рост демографической нагрузки, это приводит к сложностям реиндустриализации страны [5–7].

Цель исследования – изучение динамики численности населения в Курской области в период с 2013 по 2023 г. и поиск негативных факторов существующей демографической ситуации.

Задачи исследования:

– изучение соотношения сельского и городского населения в Курской области;

– изучение возрастной и половой структуры населения и показателя демографической нагрузки с 2013 по 2023 г.

### Материалы и методы исследования

Показатели отбирались из статистических бюллетеней «Численность и миграция населения Российской Федерации», «Естественное движение населения Российской Федерации» и «Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту» за 2013–2023 гг. На основе данных Росстата была определена динамика численности населения Курской области с 2013 по 2023 г. Производился расчет относительных показателей (экстенсивных, динамических рядов) соотношения городского и сельского населения, удельного веса (в процентах) от численности населения Курской области. Данные группировались в статистические таблицы, а также представлялись в виде диаграмм (линейных и внутривертикальных). Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием программы Microsoft Excel. Достоверность различий относительных величин (критерий достоверности разности) вычислялась по общепринятой формуле и оценивалась по таблице критериев достоверности для заданного порога вероятности безошибочных прогнозов 95%. Обсуждались результаты с достоверностью различий при  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Динамика численности населения в Курской области на 1 января каждого года по данным Росстата за 11 лет, с учетом итогов Всероссийской переписи на-

селения 2020 г., претерпела значительные изменения. С 2013 по 2017 г. численность населения не имела существенных колебаний, даже отмечался некоторый подъем в 2016 и 2017 гг. С 2018 г. отмечается снижение численности населения, а в 2022 г. выявлено резкое снижение (на 18332 чел.), данные за 2022 г. скорректированы с учетом Всероссийской переписи населения, а в 2021 г. без этой корректировки, на наш взгляд, в связи с этим выявлены существенные отличия численности населения за год. Так как динамика численности населения не имела поступательного снижения, нами были рассчитаны показатели динамического ряда, которые покажут тенденцию изменения численности населения за 11 лет. Линия тренда показывает общую тенденцию к снижению численности населения в регионе на протяжении всего периода наблюдения (рис. 1).

Что касается динамики городского и сельского населения за 10 лет, то отмечается существенный рост удельного веса городского населения на 1,99% и снижение сельского на 1,99% ( $p < 0,05$ ). В Курской области происходит отток сельского населения в города (рис. 2). На наш взгляд, это связано с уровнем и условиями жизни городского населения, наличием инфраструктуры, большим количеством рабочих мест и тем самым ростом благосостояния семей, что существенно влияет на численность населения. В городских условиях больше возможности для обучения и развития детей.

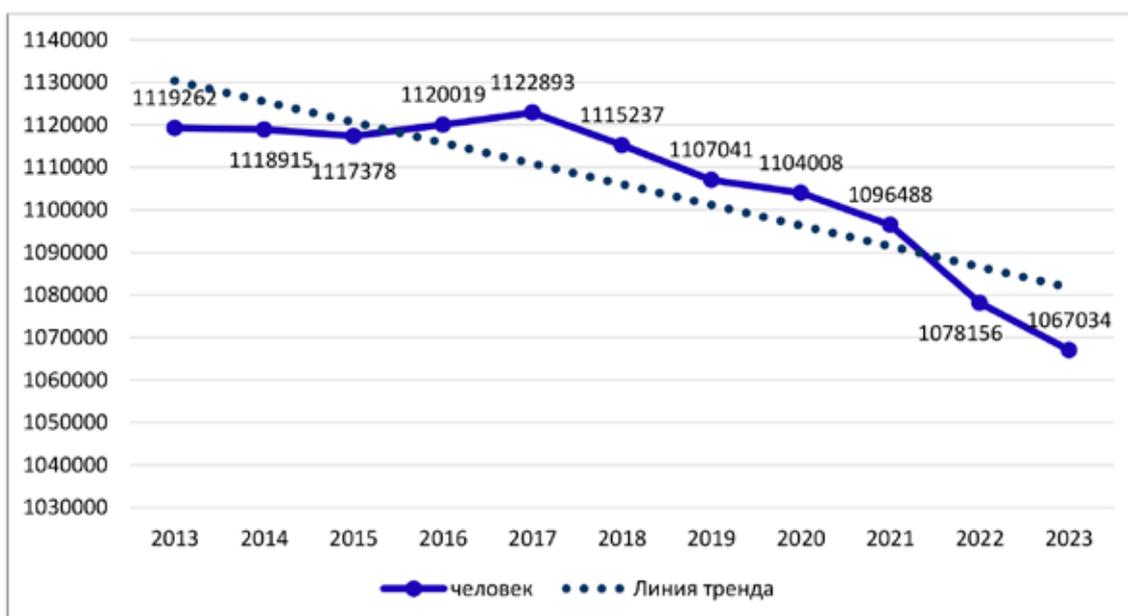


Рис. 1. Динамика численности населения Курской области с 2013 по 2023 г. (чел.)

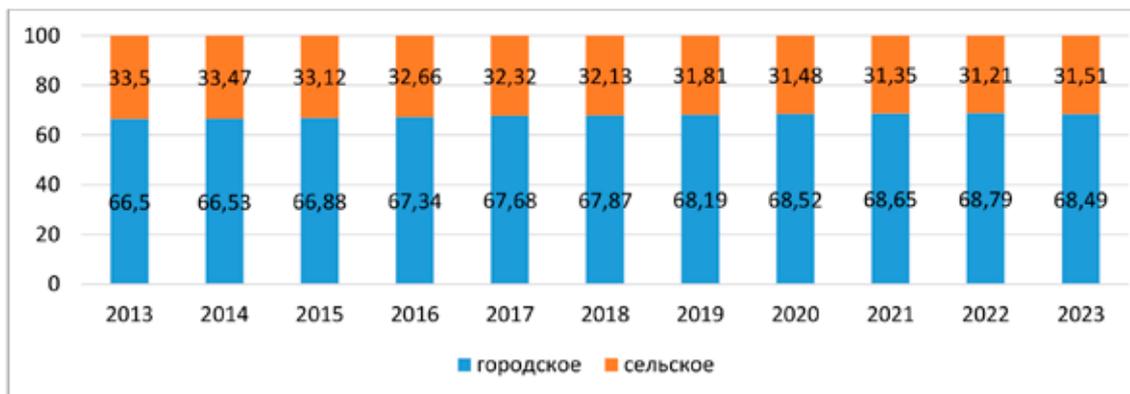


Рис. 2. Соотношение городского и сельского населения, удельный вес (в процентах) от численности населения Курской области

Возможно, решение о переезде в город чаще принимают молодые семьи, для них самих и их детей открывается больше перспектив, если они будут проживать в городских условиях. Однако те люди, которые переезжают, испытывают больше экономических трудностей при обустройстве на новом месте, чем те, которые проживали там с рождения. Это тоже необходимо учитывать, ибо переехавшие из села жители, столкнувшись с большими жилищными проблемами, возможно, заведут меньше детей или рождение первого ребенка перенесут на более поздний возраст.

В течение 10 лет отмечается рост численности удельного веса детского населения к общей численности населения, что является благоприятным демографическим фактором в целом для Курской области. Однако абсолютные значения численности детей с 2019 г. снижаются. Рост численности удельного веса на протяжении всего периода наблюдения и отсутствие его снижения с 2019 г. связан с общим снижением численности всего населения в регионе. Удельный вес населения трудоспособного возраста снижался с 2013 по 2019 г., а с 2020 по 2022 г. отмечается рост. Примерно такая же ситуация наблюдается с динамикой абсолютных значений численности населения трудоспособного возраста. Обратная картина наблюдается в группе старше трудоспособного возраста. С 2013 г. – рост удельного веса численности населения старших возрастных групп – вплоть до 2019 г. и снижение удельного веса с 2020 г. Аналогичная картина наблюдается и с абсолютной численностью населения старших возрастных групп, что, на наш взгляд, связано с пенсионной реформой, проводимой в Российской Федерации с 2018 г. [8]. Пенсионная рефор-

ма – реформа, предусматривающая постепенное повышение пенсионного возраста для женщин с 55 до 60 лет и для мужчин с 60 до 65 лет. Несомненно, это сказалось на демографической возрастной структуре населения. Так же возможно влияние новой коронавирусной инфекции COVID-19, повышенная смертность по этой причине пришлось на более старшие возрастные группы [9]. В Курской области отмечается регрессивный тип населения (население старше трудоспособного возраста преобладает над населением моложе трудоспособного возраста, 27,3 и 17,0% соответственно) (табл. 1).

Схожая ситуация наблюдается и с динамикой демографической нагрузки на 1000 населения трудоспособного возраста по Курской области. Отмечается существенный рост показателя демографической нагрузки с 2013 по 2019 г. и снижение с 2020 по 2022 г. ( $p < 0,05$ ) (рис. 3). Данная динамика с 2020 г. положительно повлияла на демографические процессы в регионе. Следует понимать, что на демографическую нагрузку влияют не только пенсионеры, но и другие категории граждан. Снижение демографической нагрузки, несомненно, приводит к росту экономических показателей региона и снижению напряженности социальных процессов. При планировании экономической политики в Курской области необходимо учитывать такой фактор, как демографическая нагрузка. Ее снижение надо встречать со сдержанным оптимизмом, прежде всего в силу снижения численности детского населения. Также, на наш взгляд, пенсионная реформа привела к ослаблению демографической нагрузки на трудоспособное население Курской области.

Таблица 1

Динамика численности и удельного веса в общей численности населения  
Курской области по основным возрастным группам на 1 января каждого года

Год	Основные возрастные группы					
	Население моложе трудоспособного возраста		Трудоспособное население		Население старше трудоспособного возраста	
	Тыс. чел.	Доля в общей численности населения группы в %	Тыс. чел.	Доля в общей численности населения группы в %	Тыс. чел.	Доля в общей численности населения группы в %
2013	172,3	15,4	651,3	58,2	295,7	26,4
2014	176,1	15,7	642,2	57,4	300,6	26,9
2015	179,3	16,0	632,3	56,6	305,8	27,4
2016	183,3	16,4	625,5	55,8	311,2	27,8
2017	186,3	16,6	619,7	55,2	316,9	28,2
2018	187,2	16,8	606,7	54,4	321,3	28,8
2019	187,1	16,9	594,5	53,7	325,4	29,4
2020	186,2	16,9	605,0	54,8	312,8	28,3
2021	185,5	16,9	596,4	54,4	314,6	28,7
2022	184,4	17,0	603,3	55,7	295,9	27,3

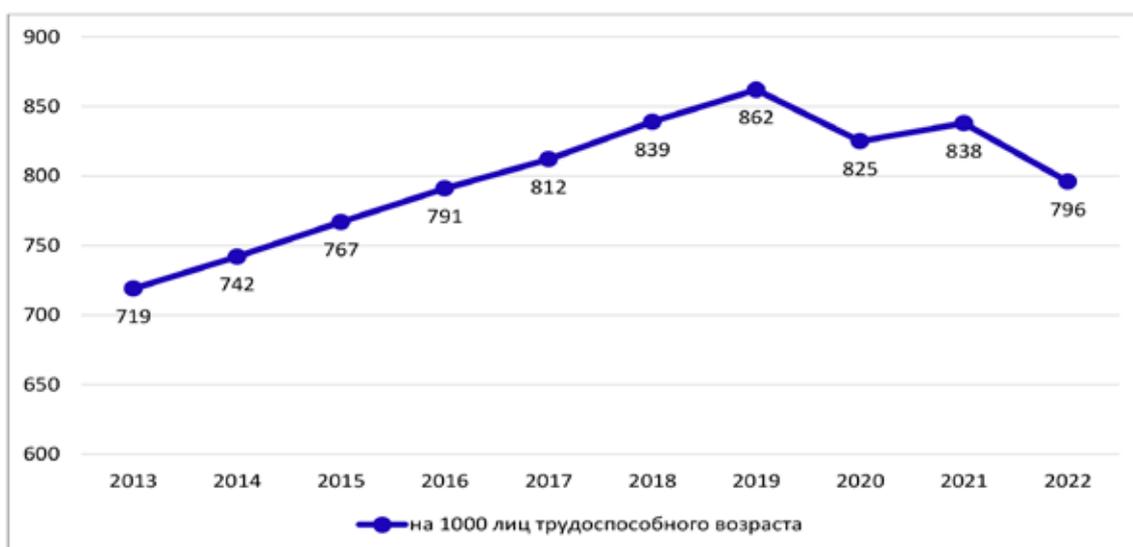


Рис. 3. Демографическая нагрузка на 1000 населения трудоспособного возраста по Курской области

В Курской области нами не выявлено существенной динамики удельного веса мужчин и женщин на протяжении 10 лет. Однако отмечается существенное преобладание женского населения над мужским в 2022 г. на 9,2% ( $p < 0,05$ ) (табл. 2).

Что касается численности населения Курской области по полу и возрасту, городского и сельского за 2021 г., нами выявлено: среди городского населения в возраст-

те от 0 до 19 лет преобладают мужчины, а с 20 лет – женщины, в возрастной группе 60 лет и старше разрыв в численности существенный. Среди сельского населения картина несколько иная. Мужское население преобладает над женским от 0 до 44 лет, а после 60 лет преобладают женщины, а старше 80 лет разрыв в численности существенный (рис. 4). Возможно, это связано с особенностью жизни и работы на селе.

Таблица 2

Динамика численности мужчин и женщин в Курской области на 1 января каждого года

Год	Численность населения тыс. чел.		Удельный вес в общей численности населения, процентов	
	мужчины	женщины	мужчины	женщины
2013	507,3	612,0	45,3	54,7
2014	507,5	611,4	45,4	54,6
2015	506,8	610,6	45,4	54,6
2016	508,1	611,9	45,4	54,6
2017	509,6	613,3	45,4	54,6
2018	506,2	609,0	45,4	54,6
2019	502,8	604,2	45,4	54,6
2020	502,3	601,7	45,5	54,5
2021	494,0	589,6	45,6	54,4
2022	498,9	597,6	45,5	54,5

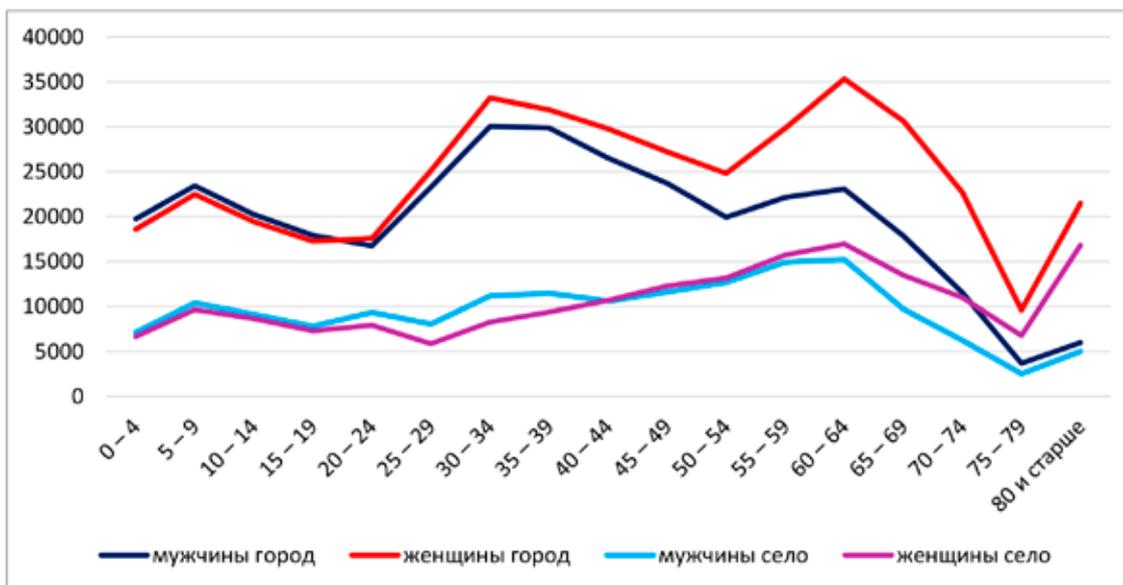


Рис. 4. Численность населения Курской области по полу и возрасту, городское и сельское за 2021 г.

**Заключение**

В Курской области отмечается снижение численности населения с 2013 по 2023 г. на 52 228 чел., существенный рост удельного веса городского населения по сравнению с сельским населением, позитивная динамика удельного веса населения моложе трудоспособного возраста. С 2020 г. рост удельного веса населения трудоспособного возраста и снижение старше трудоспособного. В регионе на протяжении всего периода

наблюдения отмечается регрессивный тип населения. Преобладание женского населения над мужским на протяжении всего периода наблюдения. В Курской области выявлено снижение демографической нагрузки на 1000 населения трудоспособного возраста с 2020 г. Таким образом, несмотря на негативную динамику абсолютного числа населения в Курской области, нами выявлена положительная динамика возрастной структуры населения и снижение демографической нагрузки.

**Список литературы**

1. Указ о национальных целях развития России до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/63728> (дата обращения: 26.03.2023).
2. Воронов А.С. Методика достижения целей и решения задач социально-экономического развития РФ на основе учета специфических особенностей регионов // Государственное управление. Электронный вестник. 2019. № 73. С. 204–223.
3. Баранов В.М. Экономическая безопасность России в системе глобальной интеграции (Рецензия на книгу: Сенчагов В.К. Экономическая безопасность: геополитика, глобализация, самосохранение и развитие (книга четвертая). М.: Финстатинформ, 2002. 128 с.
4. Голова Е.Е., Гончаренко Л.Н., Блинов О.А. Демография как основной критерий оценки качества и уровня жизни сельского населения (на примере Омской области) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 11–2. С. 363–368.
5. Сеница А.Л. Численность населения в трудоспособном возрасте в России и возможные ответы на ее снижение // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2017. Т. 13. № 11 (356). С. 2005–2017.
6. Чекареева Е.А. Проблемы воспроизводства трудовых ресурсов на региональном уровне // Проблемы развития территории. 2009. № 2. С. 56–67.
7. Чистова Е.В., Чичканов В.П. Прогноз влияния повышения пенсионного возраста на демографическую структуру России // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. № 3 (45). С. 121–137.
8. Вишневский А.Г., Щербакова Е.М. Демография: за и против повышения пенсионного возраста // Журнал Новой экономической ассоциации. 2019. № 2 (42). С. 148–166. DOI: 10.31737/2221-2264-2019-42-2-8.
9. Мятчин А.А. Смертность населения Курской области в период пандемии // Молодежная наука и современность: материалы 87 Международной научной конференции студентов и молодых ученых (Курск, 20–21 апреля 2022 г.). Ч. II. Курск: Курский государственный медицинский университет, 2022. С. 239–241.

УДК 617.713-089.843-05

## ТРЕХЛЕТНИЙ ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПАЦИЕНТАМИ ПОСЛЕ ТРАНСПЛАНТАЦИИ РОГОВИЦЫ

<sup>1</sup>Кабардина Е.В., <sup>1</sup>Акулов С.Н., <sup>1</sup>Бронникова Н.С., <sup>2</sup>Коробка А.В., <sup>2</sup>Брагина К.Е.

<sup>1</sup>ГБУ РО «Ростовская областная клиническая больница», Ростов-на-Дону,  
e-mail: dockabardina@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ростов-на-Дону

В статье представлены результаты после проведенных сквозных кератопластик у пациентов с заболеваниями роговицы за трехлетний период наблюдения в офтальмологическом отделении ГБУ РО «Ростовская областная клиническая больница». За период с 2020 по 2022 г. включительно были прооперированы 53 чел. по поводу сквозной кератопластики. Их них 23 мужчины и 30 женщин. Возраст пациентов составил от 20 до 87 лет. Основные заболевания реципиентов составляли: кератоконус III–IV стадии, язва роговицы, эндотелиально-эпителиальная дистрофия, помутнение роговицы после травм, помутнение роговицы после перенесенного кератита. Всем реципиентам проводились стандартные офтальмологические обследования как до операции, так и в послеоперационном периоде. Наблюдение в послеоперационном периоде составил каждый месяц в течение года, затем раз в 3 месяца. Основные методы обследования включали проведение рефрактометрии, визометрии, тонометрии, биомикроскопии, кератотопографии, оптической когерентной томографии переднего отрезка глаза и подсчет плотности эндотелиальных клеток. Исходная острота зрения без коррекции составляла от правильной светопроекции до 0,1 с коррекцией. Для трансплантации использовали нативный донорский материал. В послеоперационный период результаты операции оценивались по срокам восстановления прозрачности и времени эпителизации трансплантата. Сроки выписки пациента на амбулаторное лечение варьировались от анализа плотности эндотелиальных клеток трансплантата и достигнутых зрительных функций. В результате проведенного анализа трехлетнего наблюдения за пациентами после сквозной кератопластики можно говорить о том, что применение нативного донорского материала дает высокие функциональные результаты в послеоперационном периоде, быстрое время эпителизации. При использовании нативного донорского материала риск отторжения трансплантата значительно снижается, это происходит благодаря формированию полноценного многослойного эпителия. На сегодняшний день возможность проведения сквозной кератопластики с использованием нативного донорского материала дает возможность улучшить качество жизни и зрительные функции пациентам с данной патологией.

**Ключевые слова:** сквозная кератопластика, трансплантация роговицы

## THREE YEARS OF EXPERIENCE IN MONITORING PATIENTS AFTER CORNEAL TRANSPLANTATION

<sup>1</sup>Kabardina E.V., <sup>1</sup>Akulov S.N., <sup>1</sup>Bronnikova N.S., <sup>2</sup>Korobka A.V., <sup>2</sup>Bragina K.E.

<sup>1</sup>Rostov Regional Clinical Hospital, Rostov-on-Don, e-mail: dockabardina@mail.ru;

<sup>2</sup>Rostov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don

The article presents the results of end-to-end keratoplasty in patients with corneal diseases over a three-year follow-up period in the ophthalmology department of the Rostov Regional Clinical Hospital. During the period from 2020 to 2022 inclusive, 53 people were operated on for end-to-end keratoplasty. There are 23 men and 30 women. The age of the patients ranged from 20 to 87 years. The main diseases of the recipients were: stage III-IV keratoconus, corneal ulcer, endothelial – epithelial dystrophy, corneal opacity after injuries, corneal opacity after keratitis. All recipients underwent standard ophthalmological examinations both before surgery and in the postoperative period. Follow-up in the postoperative period was every month for a year, then once every 3 months. The main methods of examination included: refractometry, visometry, tonometry, biomicroscopy, keratopography. The initial visual acuity without correction ranged from the correct light projection to 0.1 with correction. Native donor material was used for transplantation. In the postoperative period, the results of the operation were evaluated by the time of restoration of transparency and the time of epithelization of the graft. The timing of the patient's discharge for outpatient treatment varied from the analysis of the density of the graft endothelial cells and the achieved visual functions. As a result of the analysis of three-year follow-up of patients after end-to-end keratoplasty, it can be said that the use of native donor material gives high functional results in the postoperative period, fast epithelialization time. When using native donor material, the risk of transplant rejection is significantly reduced, this is due to the formation of a full-fledged multilayer epithelium. To date, the possibility of end-to-end keratoplasty using native donor material makes it possible to improve the quality of life and visual functions of patients with this pathology.

**Keywords:** end-to-end keratoplasty, corneal transplantation

Помутнения роговицы занимают одно из ведущих мест в структуре первичной инвалидности по зрению в Российской Федерации. В последние годы частота развития патологических состояний, которые ведут к помутнениям роговицы, возрастает. Рост числа глазных операций, неконтрольное но-

шение контактных линз, глазной травматизм, увеличение заболеваемости кератоконусом. По данным ВОЗ четвертое место среди причин слабовидения и инвалидности по зрению занимают заболевания роговицы [1].

Сквозная кератопластика в настоящее время является операцией выбора при лече-

нии кератоконуса III–IV стадий [2]; при лечении кератэктазий; при лечении помутнений всех слоев роговицы; при длительной эндотелиально-эпителиальной дистрофии роговицы; при лечении различных перфораций роговицы.

Положительный результат после проведения сквозной кератопластики зависит от многих факторов: от техники хирургического вмешательства; от исходного состояния глаза; от наличия сопутствующей соматической патологии у реципиента; от течения послеоперационного периода.

Также качество донорской роговицы очень важно для проведения успешной сквозной кератопластики [3–5].

В 1817 г. Франц Райзингер первым провел эксперимент на животных по поводу пересадки роговицы. А в 1893 г. А.Ф. Шимановский использовал в качестве донорского материала роговицу от трупа для проведения кератопластики. В 1905 г. в Чехии первую успешную сквозную пересадку роговицы провел Эдуард Цирм. Он прооперировал пациента, потерявшего зрение после ожога, в качестве донорского материала использовал роговицу человека, ему удалось восстановить зрение пациенту до 0,3.

А. Эльшниц внес огромный вклад в развитие кератопластики. Он создал свою офтальмологическую школу, и с 1919 по 1929 г. им было проведено 203 пересадки роговицы. В 20% случаев он получил приживление трансплантата. Он сформулировал показания и противопоказания к проведению операции и разработал технику операции.

В России в 1931 г. В.П. Филатов провел кератопластику с использованием трупной роговицы, которая и послужила началом в развитии трансплантации роговицы. К 1949 г. В.П. Филатов лично провел 1000 сквозных кератопластик, а его ученики – 2200. В.П. Филатов и Д.Г. Бушмич разработали классификацию помутнений роговицы, пригодных для пересадки. Они классифицировали помутнения роговицы на категории по степени благоприятности приживления донорского материала: с первой по третью категории являлись благоприятными, четвертая и пятая категории – малоблагоприятной и неблагоприятной для приживления соответственно. Своими трудами В.П. Филатов внес огромный вклад в развитие трансплантации роговицы.

В 1940-е гг. Н. Eascott путем замораживания консервировал донорскую роговицу. Это открытие позволило J. Barraquer создать новые хирургические методики: кератофакию и кератомилез, а также сконструировать микрокератом на основе кератома. В 1944 г. R.T. Paton организовал первый

глазной банк. На сегодняшний день существует огромное количество глазных донорских банков во многих странах, которые объединяются в Ассоциацию.

В 1986 г. L. Ruiz впервые предложил выполнение передней ламеллярной кератопластики, с помощью микрокератома проводилось моделирование формы роговицы без замораживания ткани. В 1991 г. I. Pollikaris разработал методику операции лазерного кератомилеза *in situ* как разновидности передней тамеллярной кератопластики, он объединил в одной методике использование микрокератома и эксимерного лазера.

Для восстановления оптических свойств роговицы распространенным видом хирургического вмешательства является сквозная кератопластика. В офтальмологическом отделении ГБУ РО «Ростовская областная клиническая больница» для проведения сквозной кератопластики используется нативная донорская роговица.

Перед проведением сквозной кератопластики реципиенту проводят полное офтальмологическое обследование. Из-за непрозрачности роговицы и в некоторых случаях хрусталика ультразвуковое сканирование проводится с целью изучения заднего отрезка глаза. А с помощью оптической когерентной томографии изучается передний отрезок глаза. В предоперационном периоде изучаются качественные характеристики роговицы, детально измеряют толщину роговицы, глубину угла передней камеры.

Перед проведением сквозной кератопластики реципиент проходит полное обследование у смежных специалистов для оценки соматического состояния. Для исключения очагов инфекции реципиент консультируется у стоматолога и отоларинголога. Пациента на предоперационном этапе предупреждают о необходимости обращения к профильному специалисту, если в послеоперационный период возникнут воспалительные заболевания.

Цель исследования – провести анализ результатов сквозных кератопластик у пациентов с заболеваниями роговицы за трехлетний период наблюдения в офтальмологическом отделении ГБУ РО «Ростовская областная клиническая больница».

#### **Материалы и методы исследования**

За период с 2020 по 2022 г. включительно в офтальмологическом отделении ГБУ РО «Ростовская областная клиническая больница» были прооперированы 53 чел. по поводу сквозной кератопластики. Их них 23 мужчины и 30 женщин. Возраст пациентов составил от 20 до 87 лет (сред-

ний возраст 61,45). Основные заболевания реципиентов составляли: кератоконус III–IV стадии (7 чел.), язва роговицы (15 чел.), эндотелиально-эпителиальная дистрофия (8 чел.), помутнение роговицы после травм (10 чел.), помутнение роговицы после перенесенного кератита (13 чел.). У двух реципиентов в анамнезе из глазной сопутствующей патологии была компенсированная открытоугольная глаукома. Из общесоматической патологии отмечалась артериальная гипертензия 2 степени, сахарный диабет 2 типа.

Всем реципиентам проводились стандартные офтальмологические обследования как до операции, так и в послеоперационном периоде. Наблюдение в послеоперационном периоде составило каждый месяц в течение года, затем один раз в три месяца. Основные методы обследования включали проведение рефрактометрии, визометрии, тонометрии, биомикроскопии, кератотопографии, оптической когерентной томографии переднего отрезка глаза и подсчет плотности эндотелиальных клеток.

Исходная острота зрения без коррекции составляла от правильной светопроекции до 0,1 с коррекцией. Данные кератометрии варьировали от 40,5 до 52,0, медиана составила 46,25. Из-за изменений роговицы не всегда удавалось провести подсчет плотности эндотелиальных клеток роговицы до операции. ТонOMETрические данные находились в пределах нормы. В табл. 1 представлены характеристики реципиентов до операции.

**Таблица 1**

Характеристики реципиентов до операции

Исследуемые параметры	Результаты
Количество реципиентов	53
мужчин	23
женщин	30
Возраст, лет	20–87
Некорригируемая острота зрения	Светопроекция – 0,01
Корригируемая острота зрения	0,1
Кератометрия (RK)	40,5–52,0
Биометрия, мм	21,08–28,9

Возраст доноров составил от 20 до 55 лет, основной причиной смерти являлись черепно-мозговые травмы, сердечно-сосудистые катастрофы, геморрагические инсульты. Время от забора донорского материала до момента проведения сквозной кератопластики составляло меньше 1 ч.

Сквозная трансплантация роговицы проводилась по стандартной методике, на глазу реципиента с помощью одноразового вакуумного трепана MORIA, необходимым диаметром 8,0–9,0 мм выкраивалась роговица, для донорской роговицы использовался такой же вакуумный трепан того же диаметра. В начале операции накладывались 4 провизорных шва 8,0 викрил, которые в конце операции снимались, основной шов непрерывный, использовали нить 10,0 нейлон. В послеоперационном периоде в условиях стационара пациенты получали дексаметазон 4 мг/мл – 0,5 мл в виде суббульбарных инъекций, в инстилляциях применяли дексаметазон 0,1% и антибактериальный препарат.

**Результаты исследования и их обсуждение**

В послеоперационный период результаты операции оценивались по срокам восстановления прозрачности и времени эпителизации трансплантата. Сроки выписки пациента на амбулаторное лечение варьировались от анализа плотности эндотелиальных клеток трансплантата и достигнутых зрительных функций.

Через 5–8 дней мы наблюдали полную эпителизацию роговичного трансплантата. Через месяц после проведения сквозной кератопластики у всех пациентов мы наблюдали прозрачный донорский трансплантат, у некоторых пациентов помутнение донорского трансплантата мы наблюдали через 2 месяца после проведения операции. В табл. 2 представлены количественные данные помутнений трансплантата в послеоперационном периоде.

**Таблица 2**

Количество помутнений трансплантата в послеоперационном периоде

Патология роговицы	Количество операции	Количество помутнений трансплантата
Кератоконус	7	0
Язва роговицы	15	5
Эндотелиально-эпителиальная дистрофия роговицы	8	3
Помутнение роговицы после травмы	10	2
Помутнение роговицы после перенесенного кератита	13	3

Из 53 проведенных за 3 года сквозных трансплантаций роговицы у 13 пациентов мы наблюдали помутнение трансплантата. Из них в одном случае произошло отторжение трансплантата, что в дальнейшем привело к энуклеации (пациент с язвой роговицы в анамнезе). В трех случаях мы провели повторную трансплантацию роговицы.

У одного пациента через 2 месяца после проведения операции трансплантат снова помутнел, мы это связываем с иммунным статусом пациента, а в двух случаях трансплантат оставался прозрачен. У одного пациента, мужчины 68 лет, которому в 2020 г. была проведена трансплантация роговицы по поводу язвы роговицы после травмы, в течение года мы наблюдали прозрачный трансплантат, в 2021 г. было проведено снятие роговичного шва и факоэмульсификация катаракты с имплантацией интраокулярной линзы, наблюдали повышение остроты зрения до 0,4, но в начале 2022 г. пациент перенес COVID в тяжелой форме, после чего произошло помутнение трансплантата и снижение зрения до 0,01, после длительной консервативной терапии трансплантат оставался мутен, приняли решение провести повторную трансплантацию роговицы, спустя 3 месяца после операции трансплантат полностью прозрачен, острота зрения восстановилась до 0,3.

Вторая пациентка, женщина 73 лет, в 2020 г. была прооперирована по поводу помутнения роговицы левого глаза (единственно видящий глаз), на протяжении 2 лет мы наблюдали прозрачный трансплантат, но также после перенесенного COVID произошло помутнение трансплантата и снижение зрения до правильной светопроекции, в 2022 г. была проведена повторная трансплантация роговицы, на протяжении 2 месяцев наблюдаем прозрачный трансплантат и восстановление зрения до 0,2.

Острота зрения у всех пациентов после проведения сквозной пересадки роговицы составила от 0,1 до 1,0. В одном случае мы наблюдали повышение остроты зрения до 1,0. Пациентка 51 года поступила с язвой роговицы после ношения контактных линз, высокая миопия и астигматизм в анамнезе, в 2021 г. ей была проведена трансплантация роговицы, в начале 2022 г. проведено снятие роговичного шва и факоэмульсификация катаракты с имплантацией интраокулярной линзы, трансплантат прозрачен и острота зрения 1,0.

У всех пациентов (7 чел.) с кератоконусом III–IV стадии в анамнезе на протяжении 3 лет мы наблюдали полностью прозрачный трансплантат и восстановление остроты зрения до 0,4–0,6, отторжения трансплантата роговицы у пациентов с данной пато-

логией не наблюдали. В табл. 3 представлены результаты трехлетнего наблюдения за пациентами после проведенной сквозной кератопластики.

**Таблица 3**

Результаты трехлетнего наблюдения за пациентами после сквозной кератопластики

Количество операций	53
Помутнение трансплантата	11
Острота зрения	0,1–1,0
Проведение факоэмульсификации катаракты с имплантацией интраокулярной линзы после трансплантации	10
Кератометрия	43,12–45,75
Плотность эндотелиальных клеток	1780–2767

### Заключение

В результате проведенного анализа трехлетнего наблюдения за пациентами после сквозной кератопластики можно говорить о том, что применение нативного донорского материала дает высокие функциональные результаты в постоперационном периоде, быстрое время эпителизации. При использовании нативного донорского материала риск отторжения трансплантата значительно снижается, это происходит благодаря формированию полноценного многослойного эпителия.

На сегодняшний день возможность проведения сквозной кератопластики с использованием нативного донорского материала дает возможность улучшить качество жизни и зрительные функции пациентам с данной патологией. Возможность проведения кератопластики позволяет снизить риски инвалидизации пациентов с заболеваниями роговицы.

### Список литературы

1. Фабрикантов О.Л., Манаенкова Г.Е. Этиология, патогенез, клиника, классификация, лечение кератоконуса // Сибирский научный медицинский журнал. 2017. Т. 37. № 4. С. 62–74.
2. Егорова Г.Б., Рогова А.Я. Кератоконус. Методы диагностики и мониторинга // Вестник офтальмологии. 2013. № 129 (1). С. 61–66.
3. Бердиева Н.Н., Шаповалова Э.В., Рикс И.А. Оценка выживаемости трансплантата после субтотальной сквозной кератопластики в отдаленном послеоперационном периоде // Офтальмологические ведомости. 2017. Т. 10. № 3. С. 22–28.
4. Золоторевский А.В., Дементьев Д.Д., Кильдюшов Е.М., Золоторевский К.А. Применение «Материала для восстановления роговицы» при выполнении сквозной кератопластики. Учебное пособие // Катарактальная и рефракционная хирургия. 2016. Т. 16. № 2. С. 46–50.
5. Борзенко С.А., Малюгин Б.Э., Гаврилова Н.А., Комах Ю.А., Тонаева Х.Д. Алгоритм заготовки трупных роговиц человека для трансплантации: методические рекомендации. М.: Офтальмология, 2016. 24 с.

УДК 579.26

## ВЛИЯНИЕ БИОДЕСТРУКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ДЕТОКСИКАЦИИ ПОЛЛЮТАНТОВ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ

Тавадзе Б.Д.

Филиал ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» в г. Нижневартовске,  
Нижневартовск, e-mail: babo.tavadze@yandex.ru

Биоремедиация (*bio* – жизнь, *remedio* – лечение) – использование биодеструкторов (биопрепаратов) для полной детоксикации поллютантов (загрязняющих веществ) или для снижения их концентрации в окружающей среде. В качестве таких биопрепаратов обычно выступают живые организмы: бактерии, дрожжи, грибы, водоросли, растения. Благодаря биоремедиации нормализуются природные процессы, а экологические показатели приближаются к исходному состоянию, как было до антропогенного воздействия. Биоремедиацию применяют для детоксикации природных (нефть) и синтетических соединений (пестицидов, отравляющих веществ, СПАВ). Объектами биоремедиации являются загрязненные почвы, грунты, водоемы, отходы горнодобывающей промышленности и т.д. В настоящее время имеются неплохие результаты в применении биоремедиации при рекультивации земель, загрязненных нефтью. Хорошие результаты показывают такие биодеструкторы, как Бак-Верад, ГлаукОйл, DOP-UNI. Поэтому данные препараты стали предметом исследования в нашей работе. Применение биодеструкторов при рекультивации земель, загрязненных нефтью, изучено достаточно хорошо, а их влияние на основные загрязнители, такие как удобрения, пестициды, нефтяной шлам, буровой раствор, требует большего внимания. В связи с этим целью нашего исследования является изучение влияния биопрепаратов на основные загрязнители земель, выявление наиболее устойчивых и продуктивных штаммов бактерий для их дальнейшей рекомендации при применении при рекультивации.

**Ключевые слова:** биоремедиация, бактерии, загрязнители, биодеструкторы, почва, пестициды, удобрения, нефтяной шлам, буровой раствор

## INFLUENCE OF BIODESTRUCTORS IN THE PROCESS OF DETOXIFICATION OF POLLUTANTS ON CONTAMINATED SOILS

Tavadze B.D.

Industrial University of Tyumen, branch in Nizhnevartovsk, Nizhnevartovsk,  
e-mail: babo.tavadze@yandex.ru

Bioremediation (*bio* – life, *remedio* – treatment) – the use of biodestructors (biological products) for the complete detoxification of pollutants or for reduction of their concentration in the environment. Living organisms – bacteria, yeast, fungi, algae, plants – usually act as such biological products. Thanks to bioremediation natural processes are normalized and environmental indicators are approaching the initial state, as it was before anthropogenic impact. Bioremediation is to detoxify natural (oil) and synthetic compounds (pesticides, toxic substances, surfactants). The objects of bioremediation are contaminated soils, soils, water bodies, mining waste, etc. Currently, there are good results in the application of bioremediation in the remediation of oil-contaminated lands. Good results are shown by such biodestructors as Bak-Verad, Glaukoil, DOP-UNI. Therefore, these drugs became the subject of research in our work. The use of biodestructors in the reclamation of oil-contaminated lands has been studied quite well, and their impact on major pollutants such as fertilizers, pesticides, oil sludge, and drilling fluid requires more attention. In this regard, the purpose of our study was to study the effect of biological products on the main land pollutants. To identify more resistant and productive strains of bacteria for their further recommendation for use in reclamation.

**Keywords:** bioremediation, bacteria, pollutants, biodegradants, soil, pesticides, fertilizers, oil sludge, drilling mud

В настоящее время в российской практике очистку земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, осуществляют в три этапа: подготовительный, агротехнический и биологический. На подготовительном этапе происходит подготовка загрязненной территории: очищается местность от мертвого и усыхающего древостоя и травостоя, и местность охраняется от повторного загрязнения минерализованными водами. Не разрешается выжигать нефтяные пятна и засыпать их песком. Агротехнический этап включает, по мере необходимости, снос верхнего затопленного горизонта и создание нового микрорельефа. Биологический

этап включает агротехнические и фитомелиоративные (высевают многолетние травы) мероприятия [1; 2].

Для рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, также применяют альгофитомелиорацию. Альгофлора – это водоросли, которые чаще всего имеют местное происхождение. Они не погашают нефтепродукты и не употребляют их в пищу, они ускоряют почвообразовательные процессы. Они связывают атмосферный азот и улучшают свойства почвы, тем самым стимулируют рост растений.

Современный метод для рекультивации земель – биоремедиация, когда при ре-

культивации применяют микроорганизмы или «биодеструкторы» – организмы, которые разрушают органические вещества и перерабатывают их до конечных продуктов – углекислого газа и воды [3; 4]. До недавнего времени считали, что нефтеструкторы встречаются именно там, где расположены нефтепромыслы, нефтехранилища или нефтепроводы. Но, как выяснили исследователи, нефтеокисляющие микроорганизмы распространены в природе очень широко и могут быть выделены из любой почвы, осадочных пород, морской и речной воды. Эти гетеротрофные микроорганизмы могут усваивать разнообразные органические соединения: углеводы, белки, жиры и т.д. Применение биодеструкторов при рекультивации земель, загрязненных нефтью, изучено достаточно хорошо, а их влияние на основных загрязнителей, таких как удобрения, пестициды, нефтяной шлам, буровой раствор, требует большего внимания. В связи с этим целью нашего исследования стало изучение влияния биопрепаратов на основные загрязнители земель, выявление наиболее устойчивых и продуктивных штаммов бактерий для их дальнейшей рекомендации в применении при рекультивации.

Научная новизна данной работы заключается в том, что впервые «ГлаукОйл», «DOP-UNI» и «Бак-Верд» были использованы не только для дезоксидации поллютантов нефтяного происхождения, но и для пестицидов и комплексного удобрения.

Цели исследования: определение особенности влияния биодеструкторов, содержащихся в таких препаратах, как «Бак-Верд», «ГлаукОйл», «DOP-UNI», на основные загрязнители почв и выявление более продуктивных штаммов.

Задачи исследования:

1. Изучить особенности биодеструкторов, содержащихся в таких препаратах, как Бак-Верд, ГлаукОйл, DOP-UNI.

2. Изучить влияние биодеструкторов на такие загрязнители, как пестициды, удобрения, нефтяной шлам и буровой раствор.

3. Выявить более устойчивые и продуктивные штаммы бактерий для их дальнейшей рекомендации в применении при рекультивации.

#### Материалы и методы исследования

Для исследования мы использовали следующие биодеструкторы:

1. **Бак-Верд.** Биопрепарат содержит следующую микрофлору: *Bacillus*, *Atherobacter*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas*. Область химической устойчивости: pH = 5-9 при темпе-

ратурах от +10 до +40 °С. Применяется для нефтешламов.

2. **ГлаукОйл.** Биопрепарат содержит штаммы микроорганизмов *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas putida*, *Rhodococcus erythropolis*. Область химической устойчивости pH = 1-10, при температурах от -40 до +50 °С. Особенность данного препарата в том, что аборигенные микроорганизмы почвы прикрепляются к частицам биопрепарата и тем самым усиливают его действие, обеспечивая себе благоприятные условия существования.

3. **DOP-UNI.** Биопрепарат содержит штаммы культур родов *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Yarrovia*, *Pseudomonas stutzeri*, *Rhodococcus maris*, *Rhodococcus eritropolis*, *Yarrovia* sp. Эффективен в условиях низких и высоких температур. Возможность применения в соленой воде (NaCl до 150 г/л), работает при pH 4,5 и до 9,5.

Для исследования мы использовали пластиковые емкости, куда мы поместили по 3 кг почвы (стандарт). Исследования проводились в несколько этапов. За время проведения исследований температура окружающей среды варьировалась в пределах 24-25 °С, влажность 40-60%.

#### Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе, по истечении двух дней, почву искусственно насытили загрязнителями. В качестве загрязнителей мы использовали комплексное удобрение, пестицид против канадского жука, буровой раствор и нефтяной шлам. Через три дня провели качественную оценку почвенной вытяжки [5]. В ходе исследования определяли присутствие растворимых солей, таких как хлориды, сульфаты, фосфаты, кальция, карбонаты. Также определили сухой остаток (гумус), присутствие сероводорода в буровом растворе, в нефтяном шламе и кислотность почвенной вытяжки. Результаты представлены в таблице 1.

Для качественной оценки обнаружения поллютантов мы использовали метод водной вытяжки. Присутствие сероводорода определяли по методу Тюрина. Для определения кислотности почвенной вытяжки мы использовали pH-метр KL-009(1).

На следующем этапе в почву внесли исследуемые биопрепараты, содержащие микроорганизмы: Бак-Верд, ГлаукОйл и DOP-UNI. После трех недель наблюдения и умеренного полива повторно провели качественную оценку почвенной вытяжки. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 1

Первичные показатели стандарта и загрязненной почвы

№	Название загрязнителей	(Cl <sup>-</sup> ) % на 100 г почвы	(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) % на 100 г почвы	(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) % на 100 г почвы	(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) % на 100 г почвы	(H <sub>2</sub> S) мг/кг	(Ca) % на 100 г почвы	CO <sub>3</sub> (тип реакции)	Гумус г/100 г почвы	pH
1	Почва (стандарт)	0,001	0,01	Нет	Нет	Нет	0,01	Нет	97	7
2	Пестицид	0,001	0,01	3000	0,001	Нет	0,01	Сред.	89,8	6,2
3	Комплексное удобрение	0,01	0,01	>3000	0,001	Нет	0,1	Слаб.	89,2	6,1
4	Шлам	0,1	0,001	3000	0,1	6,24	0,01	Бурная	89,4	6,2
5	Буровой раствор	0,001	0,001	>3000	0,1	10,8	0,1	Нет	89	6

Таблица 2

Показатели почвенной вытяжки после трех недель работы микроорганизмов в почве

Биодеструкторы	Название загрязнителей	Пестициды	Комплексное удобрение	Шлам	Буровой раствор
Cl <sup>-</sup> % на 100 г почвы	Глаукойл	Нет	0,01	0,1	0,001
	DOP-UNI	0,01	0,01	0,1	0,001
	Бак-Верад	Нет	Нет	0,01	Нет
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> % на 100 г почвы	Глаукойл	Нет	0,001	Нет	Нет
	DOP-UNI	0,01	0,01	Нет	0,001
	Бак-Верад	Нет	Нет	Нет	Нет
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> % на 100 г почвы	Глаукойл	500	3000	250	1000
	DOP-UNI	500	500	500	Нет
	Бак-Верад	200	250	100	Нет
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> % на 100 г почвы	Глаукойл	Нет	0,001	0,1	Нет
	DOP-UNI	0,01	0,01	0,1	0,01
	Бак-Верад	Нет	Нет	0,01	Нет
H <sub>2</sub> S мг/кг	Глаукойл	-	-	2,72	1,36
	DOP-UNI	-	-	3,4	1,7
	Бак-Верад	-	-	1,7	0,68
Ca г. % на 100 г почвы	Глаукойл	0,01	0,1	0,01	0,01
	DOP-UNI	0,01	0,01	0,01	0,01
	Бак-Верад	0,001	0,001	0,001	Нет
CO <sub>3</sub> (тип реакции)	Глаукойл	Нет	Нет	Сред	Нет
	DOP-UNI	Слаб.	Слаб	Слаб.	Слаб
	Бак-Верад	Нет	Нет	Слаб.	Нет
Гумус г/100 г почвы	Глаукойл	81,62	77,2	68,73	79,4
	DOP-UNI	86	81,06	68,28	80,42
	Бак-Верад	85,04	80,56	73,02	80
pH	Глаукойл	6,2	6,2	5,7	6,1
	DOP-UNI	5,8	5,8	5,4	5,7
	Бак-Верад	5,4	5,4	6	6,4

Как показывают результаты, наблюдается положительная тенденция по всем показателям. Это говорит о том, что микроорганизмы работали не только с нефтесодержащими веществами, но и уменьшили содержание легкорастворимых солей. Результаты представлены в таблице 2. При сравнении результаты оказались даже лучше, чем у незагрязненной почвы, которую мы использовали в качестве стандарта.

На третьем этапе, по истечении шести недель, мы опять провели исследова-

ния, результаты еще улучшились, и почва оказалась практически чистой по содержанию легкорастворимых солей. Также улучшились показатели по содержанию сероводорода. Что касается сухого остатка и кислотности, результаты оказались чуть ниже стандарта. Результаты представлены в таблице 3 и на рисунке. При проведении сравнительного анализа самый лучший показатель имеет биопрепарат Бак-Верад. DOP-UNI и Глаукойл показали почти одинаковые результаты.

Таблица 3

Показатели почвенной вытяжки после шести недель работы микроорганизмов в почве

Биодеструкторы	Название загрязнителей	Пестициды	Комплексное удобрение	Шлам	Буровой раствор
Cl <sup>-</sup> % на 100 г почвы	Глаукойл	Нет	0,01	0,01	Нет
	DOP-UNI	Нет	0,01	0,01	0,001
	Бак-Верад	Нет	Нет	0,01	Нет
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> % на 100 г почвы	Глаукойл	Нет	Нет	Нет	Нет
	DOP-UNI	0,01	0,001	Нет	0,001
	Бак-Верад	Нет	Нет	Нет	Нет
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> % на 100 г почвы	Глаукойл	500	1000	Нет	500
	DOP-UNI	500	250	Нет	Нет
	Бак-Верад	100	100	Нет	Нет
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> % на 100 г почвы	Глаукойл	Нет	Нет	0,01	Нет
	DOP-UNI	0,001	0,001	0,001	0,001
	Бак-Верад	Нет	Нет	0,001	Нет
H <sub>2</sub> S мг/кг	Глаукойл	-	-	1,02	1,02
	DOP-UNI	-	-	0,34	0,17
	Бак-Верад	-	-	0,14	Нет
Ca% на 100г почвы	Глаукойл	0,01	0,001	0,001	Нет
	DOP-UNI	0,01	0,001	0,01	0,001
	Бак-Верад	0,001	Нет	Нет	Нет
CO <sub>3</sub> (тип реакции)	Глаукойл	Нет	Нет	Слаб	Нет
	DOP-UNI	Нет	Нет	Нет	Нет
	Бак-Верад	Нет	Нет	Нет	Нет
Гумус г/100г почвы	Глаукойл	86,54	89,34	88,04	91,82
	DOP-UNI	91	91,12	76,72	93,56
	Бак-Верад	92,56	89,4	76,7	91,3
pH	Глаукойл	5,9	4,3	6,8	6,2
	DOP-UNI	6,3	6,3	6,3	6,2
	Бак-Верад	6,4	6	6,4	6,8



Сравнительный анализ



*Сравнительный анализ (продолжение рисунка)*

### Выводы

1. Биопрепараты Бак-Верад, DOP-UNI и Глаукойл созданы на основе определенных микроорганизмов и обладают разными свойствами, что и выяснилось в ходе исследования.

2. Исследования доказали, что биопрепараты положительно влияют не только на загрязнителей нефтяного происхождения, но и на основных загрязнителей почв.

3. Исходя из исследования, можно сказать, что микроорганизмы можно ис-

пользовать не только при рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, но и для улучшения эдафических факторов.

4. Полученные результаты доказали, что Бак-Верад превосходит DOP-UNI и Глаукойл по воздействию, именно его мы и рекомендуем, хотя DOP-UNI и Глаукойл тоже показали неплохие результаты.

#### Список литературы

1. Епифанова И.А., Печенов А.И. Е.Е. Левашова Очистка нефтеразливов биологическим методом // Технология и моделирование процессов подготовки и переработки природных энергоносителей. Томск, 2014. Т. 2. С. 78-79.

2. Моторин А.С., Игловиков А.В. Рост и развитие многолетних трав в условиях Крайнего Севера при применении новых агроулучшающих приемов на биологическом этапе рекультивации // Аграрный вестник Урала. 2012. №7(99). [Электронный ресурс]. URL: [http://mavu.narod.ru/PDFkee/AVU\\_07\\_2012.pdf](http://mavu.narod.ru/PDFkee/AVU_07_2012.pdf) (дата обращения: 01.03.2023).

3. Николаева А.В., Трошин М.А., Мешеряков С.В., Остах С.В., Остах О.С. Идентификация и прогнозирование результативности применения наилучших доступных технологий обезвреживания нефтесодержащих отходов // Экологический вестник России. 2017. № 2. С. 14-18.

4. Тоганбай А.Н., Сарсенбаев С.О., Мусина У.Ш., Джамалова Г.А. Обзор способов биоремедиации нефтезагрязняющих почв // Научное обозрение. Реферативный журнал. 2018. № 2. С. 16-27.

5. Tavadze B.D., Valieva A.F. Comparative analysis of biodestructors used in bioremediation at land reclamation contaminated with. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. P. 1010012008.

## ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВОДОЛАЗНЫХ СПУСКОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ IN SITU

Яхонтов Б.О.

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, e-mail: giper28@ocean.ru*

В статье обсуждаются основные принципы организации водолазных спусков с целью проведения океанологических исследований in situ. Особенности проведения водолазных работ в научных целях заключаются в том, что в качестве водолаза выступает штатный научный работник, имеющий минимальную водолазную квалификацию. Кроме того, океанологические исследования с использованием водолазных методов обычно носят эпизодический характер, что негативно влияет на уровень квалификации и опыта научных водолазов. С учетом этой специфики работы водолазов-исследователей, а также практики проведения подводных научных работ выявлены принципы, которые должны лежать в основе системы организации водолазных погружений. Реализация этих принципов обеспечивает правовую возможность проведения подводных исследований водолазными методами в научной организации, не специализирующейся по водолазному делу, с соблюдением российских единых правил безопасности и охраны здоровья водолазов. Главными из этих принципов являются: временно создаваемая водолазная станция на берегу или на НИС, ограничение глубины спусков, погружение научного водолаза с напарником и по режимам, не требующим ступенчатой декомпрессии, а также без смены дыхательной газовой смеси под водой при использовании дыхательного аппарата типа «ребризера» и под контролем состояния водолаза под водой. По результатам оценки рисков для научных водолазов, которые связаны с действием экстремальных биофизических факторов водной и дыхательной газовой среды при работе под водой, водолазные спуски целесообразно проводить с привлечением на договорной основе сторонней специализированной организации, имеющей допуск (свидетельство) для выполнения водолазных работ.

**Ключевые слова:** подводные океанологические исследования, организация водолазных спусков, водолаз-исследователь, безопасность водолазов, научно-исследовательское судно, медицинское обеспечение водолазов

## PRINCIPLES OF ORGANIZATION OF DIVING DESCENTS FOR CONDUCTING OCEANOLOGICAL RESEARCH IN SITU

Yakhontov B.O.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: giper28@ocean.ru*

The article discusses the basic principles of organizing diving descents for the purpose of conducting oceanological research in situ. The specifics of conducting diving operations for scientific purposes are that a full-time researcher with minimal diving qualifications acts as a diver. In addition, oceanological research using diving methods is usually episodic in nature, which negatively affects the level of qualification and experience of scientific divers. Considering this specificity of the work of research divers, as well as the practice of conducting underwater scientific work, the principles that should underlie the system of organization of diving dives are identified. The implementation of these principles ensures the legal possibility of conducting underwater research by diving methods in a scientific organization that does not specialize in diving, in compliance with the Russian uniform rules for the safety and health of divers. The main of these principles are: a diving station temporarily created on the shore or on the research vessel, limiting the depth of descents, immersion of a scientific diver with a partner and according to modes that do not require step decompression, as well as without changing the breathing gas mixture under water when using a rebreather type breathing apparatus and under the control of the divers condition under water. According to the results of the risk assessment for scientific divers, which are associated with the action of extreme biophysical factors of the aquatic and respiratory gas environment when working underwater, it is advisable to conduct diving descents with the involvement on a contractual basis of a third-party specialized organization that has a permit (certificate) to perform diving work.

**Keywords:** underwater oceanological research, organization of diving descents, diver-researcher, safety of divers, research vessel, medical support for divers

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021–0011)*

В настоящее время актуальными являются разработка и внедрение в исследовательскую практику технологий подводных исследований, основанных на водолазных методах погружений. Развитие данного направления работ обосновывается научной эффективностью их использования. В России водолазные технологии и методы погружений в течение последних десятилетий в научной сфере почти не использовались. Однако оценка эффективности их

применения, включая подводные лаборатории, исследовательские подводные лодки с водолазными комплексами, обитаемые аппараты с водолазными отсеками, выявила большое значение исследований in situ для повышения общего научного уровня фундаментальных и прикладных разработок в области океанологии [1]. Но любые работы человека под водой по понятным причинам связаны с обеспечением его безопасности.



*Рис. 1. Слева – водолаз с напарником входят в воду (аппараты с замкнутым циклом дыхания), справа – водолаз-исследователь с напарником под водой (аппараты с открытым циклом дыхания) (Фото слева – из архива С.В. Черкашина, справа – из scmi.net › csu-marine-biology)*

Конечно, безопасность водолаза в большой степени зависит от организации погружений, хотя в целом проблема безопасной работы человека под водой является медико-биологической, поскольку он попадает во враждебную ему среду и подвергается воздействию большого количества неблагоприятных физических, химических, физиологических и других факторов [2].

Организация водолазных спусков в любых целях определяется требованиями общероссийских «Единых правил безопасности труда на водолазных работах. РД 31.84.01–90» [3] и «Правил по охране труда при проведении водолазных работ» [4], которые обязательны для исполнения всеми гражданскими организациями Российской Федерации. Поэтому эти правила в полной мере распространяются и на погружения в научных целях, в частности при океанологических исследованиях в прибрежной зоне и в открытом море с научно-исследовательских судов (НИС) и других плавсредств. При работе водолаза-исследователя, или научного водолаза, правила допускают учет организационной специфики погружений и его научной работы под водой. Специфика в данном случае заключается, прежде всего, в том, что водолаз-исследователь – это штатный научный работник (ученый-океанолог), имеющий профессиональную водолазную подготовку с начальной квалификацией «водолаз», но это не является его основной профессией. Вместе с тем это дает ему право проводить научные исследования под водой в пределах определенного диапазона глубин. Его задачи при работе на дне по понятным причинам должны быть ограничены только научным наблюдением, экспериментом с применением донных приборов, сбором различных проб, образцов и анализом обстановки под водой для личного контроля безопасности [5]. Следовательно, это водолаз относительно

невысокой квалификации и с небольшим опытом погружений, что требует для него повышенных мер обеспечения безопасности. Это весьма успешно решается в нашей стране и за рубежом путем погружений водолаза-исследователя в паре с другим водолазом (рис. 1), выполняющим под водой функции страхующего водолаза, он может являться при необходимости одновременно и помощником исследователя. По факту же каждый из спускающихся в паре водолазов выполняет функции страхующего по отношению к своему напарнику. Существенными являются и ограничение глубины погружений 30 м из-за недостаточного опыта водолаза и начала проявлений азотного наркоза при дыхании сжатым воздухом, а также спуски по бездекомпрессионным режимам [5]. Последнее наиболее эффективно реализуется при дыхании кислородно-азотной смесью (КАС) с повышенным содержанием кислорода. Например, при спусках на глубину 30 м и времени работы на грунте 45 минут дыхание КАС с 40%-ным содержанием кислорода исключает необходимость проведения ступенчатой (с остановками) декомпрессии. Этого времени вполне достаточно для выполнения многих задач при океанологических исследованиях [6].

Не менее важной особенностью организации водолазного дела при подводных океанологических исследованиях является эпизодический характер проведения исследований водолазным методом, что представляется решающим фактором для отказа профессиональных коммерческих водолазов от сотрудничества, поскольку такой режим работы явно отражается на их финансовом положении и квалификации. К тому же в не специализированной по водолазному делу научной организации водолазные работы не являются основным видом научной деятельности, что исключает возможность и необходимость иметь водолазную служ-

бу, штатных профессиональных водолазов и медперсонал (водолазного врача или фельдшера) для обязательного медицинского обеспечения водолазов. В таких условиях выполнение эпизодических водолазных работ научными водолазами возможно только при ограничениях, позволяющих водолазу начальной квалификации относительно безопасно выполнять научные задачи под водой.

Целью данной работы является разработка принципов организации водолазных погружений с учетом специфики условий работы научных водолазов в целях безопасного и эффективного проведения подводных океанологических исследований.

### **Материалы и методы исследования**

Исследование выполнено по результатам обработки и анализа материалов, полученных при многолетней практике водолазных погружений в научных целях водолазов-исследователей из числа штатных научных работников, имеющих профессиональную водолазную подготовку с начальной квалификацией «водолаз», и производственных водолазов более высокой квалификации. Спуски на малые глубины (до 12 м) и в диапазоне средних глубин (от 12 до 60 м) проводились на российских акваториях Черного и Балтийского морей, а также в специальных учебных и исследовательских водолазных бассейнах. При погружениях использовались автономные подводные дыхательные аппараты (SCUBA) типа «акваланг» с открытым циклом дыхания (OCR) сжатым воздухом и кислородно-азотными смесями, а также аппараты с замкнутым циклом дыхания (CCR) газовыми смесями типа «ребризер». Все водолазы имели допуск к погружениям в пределах установленных глубин. Спуски проводились со специализированных водолазных судов, научно-исследовательских судов и маломерных плавсредств (надувных лодок, катеров, шлюпок). При обобщении результатов работы использовались также практический опыт и ранее полученные материалы при работе водолазов-океанологов в подводных научных лабораториях и убежищах. В качестве главных критериев оценки оптимальности организации водолазных спусков были приняты: безопасность погружений и работ под водой и эффективность выполнения подводных исследований. Эти критерии рассматривались и как главные из принципов организации спусков.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Анализ проведения водолазных спусков и работ показал, что система организации

погружений в научных целях базируется на двух важнейших для данной деятельности человека принципах: безопасности водолазов и эффективности подводных исследований *in situ*. Не менее значимыми являются и принципы: научной обоснованности используемых методов и технологий погружений; доступности использования современных технических средств обеспечения спусков (водолазное снаряжение и оборудование); регламентации всего процесса работы водолаза – от спуска в воду до выхода на поверхность (нормативная документация – правила, инструкции, стандарты).

С учетом специфики организации проведения океанологических исследований, которые практически всегда носят эпизодический характер, установлено, что наиболее рациональной организационной основой подводных исследований является временная водолазная станция (группа), укомплектованная допущенными к спускам водолазами-исследователями и специалистами, допущенными к руководству спусками и работами. Водолазная станция оснащается водолазным снаряжением и средствами обеспечения водолазных спусков и работ, являющимися собственностью научной организации.

Практика организации водолазных работ научно-исследовательского характера показала, что для этого в экспедиции обычно требуется не более одной водолазной станции, количество водолазов на которой при спусках на глубины, например, до 20 м одного водолаза должно быть не менее 3 человек, двух водолазов одновременно (исследователь и его напарник) – 5 человек [4, прил. 1]. При спусках на глубины от 20 до 30 м количество водолазов на станции увеличивается соответственно до 4 и до 6 человек (таблица).

Необходимость увеличения количества водолазов при спусках с напарником в условиях дефицита научных работников, имеющих водолазную подготовку, усложняет комплектование водолазной станции. Но работа под водой исследователя с напарником является, по мнению и самих научных водолазов, одним из важнейших способов обеспечения их безопасности, что поддерживается и в ведущих зарубежных научных организациях, использующих водолазные методы океанологических исследований [7].

Проблема возможной нехватки водолазов для комплектования водолазной станции решается за счет совмещения обязанностей специалистов, находящихся во время работы под водой на поверхности (на плавсредстве обеспечения спусков).

Необходимое количество водолазов на водолазной станции  
в зависимости от условий и технологии спусков

Глубина погружения, м	Количество водолазов, включая руководителя водолазных спусков, человек, не менее	
	При спуске под воду одного водолаза	При спуске под воду одновременно двух водолазов (научного с напарником)
Для прибрежной зоны и внутренних акваторий		
С использованием водолазного снаряжения в автономном варианте		
До 20	3	5
Свыше 20 до 45	4	По результату оценки рисков
С использованием мобильных водолазных комплексов		
До 20	3	5
Свыше 20 до 45	4	6
Для открытого моря		
С использованием водолазной станции и мобильного (контейнерного) водолазного комплекса на судне (НИС)		
До 30	4	По результату оценки рисков

Например, обязанности старшины (бригадира) водолазной станции, руководителя водолазных спусков, руководителя водолазных работ при допустимом сочетании обязанностей могут совмещаться при условии сохранения безопасности работающих под водой водолазов. Кроме того, функции водолаза, обеспечивающего спуск (в частности, обеспечение связи с работающим под водой водолазом), успешно выполняют предварительно обученный сотрудник, не являющийся водолазом, или руководитель водолазного спуска.

При подводных океанологических исследованиях в условиях открытого моря с использованием временно расположенной на НИС водолазной станции может даже потребоваться дополнительное количество водолазов или технических специалистов в случае использования барокамеры, спуско-подъемного устройства (СПУ) для водолазной беседки, при спусках с судна в местах обитания опасных морских животных. Но в судовых условиях по запросу руководителя водолазных работ капитан судна может выделить вспомогательный персонал для обеспечения водолазных спусков. При организации спусков с НИС необходимо учитывать, что спуски с судна можно проводить только при условии, если это судно не находится на ходу или в дрейфе, закреплено над местом работ с помощью якорей или системы динамического позиционирования (СДП).

При спусках с НИС требования к научному водолазу, организации спусков и безопасности по понятным причинам повышаются, потому что водолаз в таких условиях

может при необходимости проводить наблюдение, фото- и видеосъемку, не погружаясь до грунта, а находясь в водолазной беседке или даже некоторое время на плавучей с использованием страховочной подвесной системы. Последнее требует достаточно высокой физической и психологической подготовки водолазов. В этих целях зарубежными требованиями по безопасности и стандартами для научных водолазов [7, 8] предписывается еще на этапе их обучения выполнить на воде ряд тестов по физической подготовке для предстоящей работы в открытом море (плавание под водой и на поверхности на время, зависание на поверхности воды («топтанье воды» – treading water) с помощью или без помощи рук на время и др.). Кроме того, научный водолаз должен иметь минимальную квалификацию с допуском погружений на глубину 70 футов (21 м), не менее 24 спусков в течение последних 2 лет и подтверждение сертификации перед рейсом судна. В России для водолаза минимальной квалификации «водолаз» годовая норма пребывания под водой для поддержания квалификации составляет не менее 2 спусков под воду в месяц продолжительностью 30 минут каждый. Но в связи с изменчивыми сезонными климатическими условиями на акваториях это требование не всегда бывает выполнимо. Поэтому во время экспедиции ее начальник (руководитель водолажных работ) и капитан НИС могут в соответствии с правилами организовать для водолазов-исследователей тренировочные спуски и это время засчитывать в обязательные годовые нормы пребывания под водой [3].

При водолазных спусках с борта любого судна, в том числе с НИС, важным является распределение обязанностей по обеспечению безопасности между капитаном судна и руководителем водолазных научных работ. Эти обязанности оформляются в письменном виде. Конечно, капитан судна в соответствии с правилами отвечает за организацию водолазных работ и безопасность, которые связаны только с судном (стоянка, выполнение маневров, удержание судна по месту работ и пр.), а руководитель водолазных работ – за организацию и безопасное выполнение непосредственно водолазных спусков с судна и исследовательских работ под водой. Общий контроль организации спусков при проведении подводных научных работ осуществляет начальник научной экспедиции на судне, который чаще всего назначается и руководителем водолазных работ. Последний может являться научным или инженерно-техническим работником, знающим правила спусков и технологию выполняемых работ и имеющим допуск к руководству водолажными работами.

Спуски водолазов в море с борта судна проводятся с использованием трапа (рис. 2) и страховочной системы для экстренного подъема водолаза из воды.



Рис. 2. Спуск водолаза с судна по трапу

Практика показала, что для многих научных водолазов при подъеме по трапу предпочтительна высота борта над поверхностью воды у места спуска порядка 2 м, хотя для водолазов всех специализаций правила допускают и 3 м. При высоте борта более 2 м спуски научных водолазов могут, конечно, проводиться, но с учетом их физических возможностей или с использованием водолазной беседки с СПУ, а также страховочной подвесной системы.

Важно, что к руководству водолажными спусками на глубины до 20 м с водолажной станции, укомплектованной целиком научными работниками, имеющими начальную квалификацию «водолаз» (водолаз-исследователь), при отсутствии водолаза более

высокой квалификации допускается водолаз, имеющий такую же квалификацию, но прошедший специальную подготовку и допущенный водолазной квалификационной комиссией к руководству водолажными спусками [3, п. 2.3.7] в таких условиях. При других вариантах комплектования станции к руководству водолажными спусками на глубины до 20 м допускается водолаз не ниже 2-го класса профессиональной квалификации, что редко встречается среди научных работников. При спусках на большие глубины, например до 30 м, к руководству спусками допускается водолаз еще более высокой квалификации – не ниже 1-го класса, что может быть реализовано только привлечением на договорной основе профессионального водолаза сторонней организации. Таким образом, при выполнении подводных исследований *in situ* только силами научных водолазов спуски должны быть ограничены глубинами до 20 м.

В пределах глубины до 20 м и волнении моря не более 2 баллов научные водолазы могут погружаться и работать не только с водолажных судов, с НИС, но и с маломерных устойчивых плавучих средств, спущенных на воду с судна, что важно при организации подводных океанологических исследований на удалении от НИС (в зоне видимости), а также при спусках с маломерных плавсредств в береговой зоне.

Водолажная станция для обеспечения возможности выполнения водолажных работ научно-исследовательского характера должна быть обеспечена необходимой разрешительной, нормативной и технической документацией, а сами научно-исследовательские работы – планом или программой работ, в которых предусматривается обеспечение безопасности при выполнении подводных исследований. Основным официальным документом для регистрации спусков и подводных научных работ, выполняемых водолазами-исследователями, является журнал водолажных работ.

Важнейшим аспектом организации подводных океанологических исследований с использованием водолажных методов является медицинское обеспечение водолазов. Это наиболее ответственная часть организации водолажных работ вообще, поскольку условия работы под водой при дыхании измененной газовой среды приводят к развитию специфических реакций всех физиологических систем организма, которые могут переходить в патологические состояния при нарушениях режимов спуска, работы под водой и выхода на поверхность [9].

Медицинское обеспечение водолазов при спусках и работах на водолажных науч-

ных объектах реализуется проведением комплекса мероприятий, направленных на охрану здоровья водолазов-исследователей, а также оказанием водолазам медицинской помощи при специфических заболеваниях (таких как баротравмы, декомпрессионная болезнь и др.), травмах и других неотложных патологических состояниях [10].

Поскольку глубины погружения и научной работы водолазов-исследователей на грунте рекомендуется ограничить 30 м, присутствие медицинского работника на месте спусков не обязательно. Он должен находиться у места работ при спусках на глубины более 45 м и при других не предполагаемых для работы водолазов условиях. При отсутствии на месте спусков водолазного врача (фельдшера) должны быть обеспечены возможность его экстренного вызова для оказания в случае необходимости медицинской помощи пострадавшему водолазу или постоянная консультативная связь руководителя водолазных спусков или руководителя водолазных работ с этим медицинским работником [4, п. 477]. До прибытия к месту спусков водолазного врача или фельдшера руководитель водолазных спусков действует самостоятельно по его указаниям, получаемым по каналу связи.

Медицинское обеспечение водолазов осуществляется водолазным врачом (фельдшером), допущенным к такому обеспечению после прохождения специализации по водолазной медицине и имеющим соответствующий допуск (свидетельство) и квалификацию «водолаз». В некоторых случаях медобеспечение водолазов при работе на малых глубинах может возлагаться на классных водолазов (1-го и 2-го классов I–II группы специализации) после их медицинской подготовки по специальной программе в соответствующих учебных заведениях.

При отсутствии в научной организации штатного медицинского персонала и классных водолазов вопрос медицинского обеспечения водолазов решается в медицинских (лечебно-профилактических) организациях системы Минздрава РФ, имеющих лицензию на право медицинского обеспечения водолазов и сертификат.

При работе на НИС и наличии судового здравпункта его врач или фельдшер могут привлекаться, по предварительному согласованию с капитаном судна, к медицинскому обеспечению водолазов-исследователей в период экспедиции, но при наличии у них соответствующего допуска (свидетельства), выданного на основании прохождения специальной подготовки по программе водолазных врачей (фельдшеров).

Основным техническим средством оказания специализированной медицинской

помощи водолазам любых специализаций является барокамера. Водолазные научные работы на глубинах более 20 м должны проводиться при наличии вблизи места спуска барокамеры, готовой к проведению лечебной рекомпрессии. При работах научных водолазов на глубинах менее 20 м наличие барокамеры у места спусков желательно, по крайней мере при работах на глубинах более 12 м, учитывая риски, связанные с невысокой квалификацией и недостаточным опытом водолазов-исследователей, что обусловлено в основном эпизодичностью научных работ под водой. При отсутствии барокамеры у места спусков должна быть обеспечена возможность транспортировки пострадавшего водолаза к находящейся в готовности барокамере в другой организации в течение не более 1 часа для проведения лечебной рекомпрессии. При расчетном большем времени эвакуации используется транспортная (переносная) барокамера, находящаяся на транспортном средстве (катере, автомашине). С владельцем барокамеры заранее заключается письменный договор на проведение лечебной рекомпрессии пострадавшего водолаза.

Но это все относится к работе в море в пределах прибрежных акваторий. При планировании подводных океанологических исследований с использованием водолазных методов в открытом море водолазная станция на НИС безусловно должна быть оснащена рекомпрессионной барокамерой, а также специальным оборудованием (водолазной беседкой с СПУ, страховочной подвесной системой) для спуска-подъема водолаза. При отсутствии барокамеры на НИС водолазные спуски в дальних рейсах не должны планироваться.

### Заключение

С учетом специфики проведения водолазных спусков, а также практики и опыта выполнения подводных научных работ можно выделить принципы, которые должны лежать в основе системы организации водолазных погружений для проведения подводных океанологических исследований. Реализация этих принципов обеспечивает правовую возможность проведения подводных исследований водолазными методами в научной организации, не специализирующейся по водолазному делу, с соблюдением российских единых правил безопасности и охраны здоровья водолазов. Главные из них:

– организационной основой водолазных погружений в научных целях должна быть временно создаваемая на берегу, на НИС или на других плавсредствах водолазная

станция, комплектуемая водолазами из числа штатных научных, а также инженерно-технических работников, имеющих минимум начальную квалификацию «водолаз»;

– проведение океанологических исследований *in situ* научными водолазами целесообразно ограничить глубиной 30 м при дыхании сжатым воздухом и кислородно-азотными смесями с использованием автономного водолазного снаряжения (дыхательных аппаратов с открытым или замкнутым циклом дыхания) при допустимых гидрометеорологических условиях в районе работ;

– при проведении подводных исследований *in situ* с водолазной станции, укомплектованной полностью, включая руководителя спусков, водолазами, имеющими квалификацию «водолаз», погружения должны ограничиваться глубиной 20 м;

– водолазные спуски на глубины до 20 м могут проводиться с маломерных остойчивых плавсредств, что важно при организации подводных океанологических исследований на небольшом удалении от НИС (в зоне видимости) или в береговой зоне;

– основным условием проведения спусков водолазами-исследователями должны быть погружения в паре с другим водолазом, который является страхующим, при необходимости он может являться одновременно и помощником исследователя;

– при использовании водолазом-исследователем, имеющим начальную квалификацию «водолаз», аппарата с замкнутым циклом дыхания типа «ребризер» смена дыхательной газовой смеси под водой должна быть исключена;

– погружения научных водолазов с минимальной квалификацией «водолаз» должны проводиться по режимам, не требующим ступенчатой декомпрессии, с учетом рисков и недостаточного опыта водолаза;

– недостаток водолазных кадров (водолазов-исследователей), возможный при организации океанологических исследований, может компенсироваться за счет допустимого совмещения рабочих функций специалистов водолазной станции;

– спуски и научные работы водолазов-исследователей должны проводиться под контролем их пребывания под водой и общего состояния организма (аудио- и видеосвязь).

Для решения вопросов комплектования водолазной станции и в целях обеспечения безопасности водолазов при научных работах под водой, предусмотренных программой научной экспедиции, водолазные спуски допустимо (а в ряде случаев – необходимо) проводить с привлечением на договорной основе сторонней специали-

зированной организации, имеющей допуск (свидетельство) к выполнению водолажных работ, водолазное снаряжение и оборудование, а также квалифицированных водолазов. В этом случае погружения могут проводиться на большие глубины в соответствии с квалификацией водолазов и с использованием других технологий. Наемные водолазы должны пройти методическую подготовку по проведению конкретных океанологических исследований на грунте под руководством научного работника, заинтересованного в проведении данных исследований.

Организация водолажных спусков и научных работ под водой направлена в первую очередь на обеспечение безопасности водолазов-исследователей и сохранение их здоровья. В связи с этим едиными правилами безопасности, включающими и медицинское обеспечение водолазов [11], установлены требования, которые должны соблюдаться независимо от целей спусков (научные или производственные). Однако специфика работы (эпизодичность подводных исследований, уровень квалификации научного водолаза) и выявленные принципы организации подводных океанологических исследований должны учитываться во внутренних нормативных документах, связанных с выполнением таких работ.

### Список литературы

1. Яхонтов Б.О., Римский-Корсаков Н.А. Развитие гипербарических технологий океанологических исследований // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 1. С. 167–171.
2. Зальцман Г.Л., Кучук Г.А., Гургенидзе А.Г. Основы гипербарической физиологии. Л.: Медицина, 1979. 320 с.
3. Единые правила безопасности труда на водолажных работах. Часть 1. Правила водолазной службы. РД 31.84.01–90. М.: Моркнига, 2022. 304 с.
4. Правила по охране труда при проведении водолажных работ. Утв. Приказом Минтруда России от 17.12.2020 № 922н. М.: Моркнига, 2022. 232 с.
5. Яхонтов Б.О. Биофизические аспекты безопасности водолазов при океанологических исследованиях // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2022. № 5. С. 11–16.
6. Яхонтов Б.О. Водолазные методы океанологических исследований // *Океанология*. 2021. Т. 61, №3. С. 491–497.
7. Diving safety manual. Revision 3.2-2018 // Woods hole oceanographic institution, USA, 2018. 126 p.
8. Standards for scientific diving. The American Academy of Underwater Sciences (AAUS). Revised 5. – AAUS. 101 Bienville Blvd Dauphin Island. AL 36528, 2013. 85 p.
9. Медицинские проблемы подводных погружений / Пер. с англ.; Под ред. П.Б. Беннетта, Д.Г. Эллиотта. М.: Медицина, 1988. 672 с.
10. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. Водолазные спуски до 60 метров и их медицинское обеспечение. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Слово, 2013. 608 с.
11. Единые правила безопасности труда на водолажных работах. Часть II. Медицинское обеспечение водолазов. РД 31.84.01–90. М.: Мортехинформреклама, 2022. 132 с.

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

УДК 616-036.17-053.2:578.834.1

**ТЕЧЕНИЕ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ  
У РЕБЕНКА С МУКОВИСЦИДОЗОМ**

<sup>1</sup>Чиркова О.А., <sup>1,2</sup>Ледяйкина Л.В., <sup>2</sup>Рузавина Е.Ф.,

<sup>3</sup>Каминская Т.М., <sup>2</sup>Верещагина В.С., <sup>2</sup>Ледяйкина С.А

<sup>1</sup>ГБУЗ Республики Мордовия «Детская республиканская клиническая больница», Саранск,  
e-mail: oksana.velmatova@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева», Саранск, e-mail: ledlv@list.ru, thanekrios@inbox.ru, ruzavinakat@yandex.ru;

<sup>3</sup>ГБУЗ Республики Мордовия «Мордовская республиканская центральная клиническая больница»,  
Саранск, e-mail: t.m.kaminskaya@mail.ru

В статье приведен клинический случай заболевания коронавирусом инфекцией у ребенка с муковисцидозом. Отражены принципы диагностики и комплексного лечения сочетанной патологии у ребенка. На данный момент известно, что тяжелая форма COVID-19 у детей встречается реже, чем у взрослых. Однако дети подвержены, по крайней мере, двум долгосрочным последствиям: мультисистемному воспалительному синдрому и длительному постковидному синдрому. Дети с муковисцидозом считаются клинически уязвимой группой населения с присущим им более высоким риском развития тяжелой формы COVID-19, хотя некоторыми исследователями была отмечена определенная вариабельность в отношении исходов и госпитализации. Согласно статистическим данным, общее число всех пациентов с муковисцидозом в Республике Мордовия на 2020 год в абсолютных числах составляет 20 человек, количество взрослых в абсолютных цифрах – 5 человек. Доля больных в федеральном округе – 2,6%; доля в общем регистре – 0,5%. Коронавирусная инфекция, белково-энергетическая недостаточность, токсическое поражение печени явились теми патологиями, которые осложнили течение основного заболевания в иммунокомпромированном организме ребенка. В данном случае детская смерть не предотвратима, учитывая наличие муковисцидоза, коронавирусной инфекции и тяжелой дыхательной недостаточности, развившейся в результате данных заболеваний, которые сыграли ведущую роль в танатогенезе у ребенка.

**Ключевые слова:** муковисцидоз, COVID-19, гистология, пневмония, дети

**COURSE OF CORONAVIRUS INFECTION  
IN A CHILD WITH CYSTIC FIBROSIS**

<sup>1</sup>Chirkova O.A., <sup>1,2</sup>Ledyakina L.V., <sup>2</sup>Ruzavina Ye.F.,

<sup>3</sup>Kaminskaya T.M., <sup>2</sup>Vereshchagina V.S., <sup>2</sup>Ledyakina S.A.

<sup>1</sup>Children's Hospital Republic of Mordovia, Saransk, e-mail: oksana.velmatova@yandex.ru;

<sup>2</sup>Ogarev Mordovia State University, Saransk,  
e-mail: ledlv@list.ru, thanekrios@inbox.ru, ruzavinakat@yandex.ru;

<sup>3</sup>State budgetary institution of health of the Republic of Mordovia "Mordovia Republican"  
Central clinical hospital, Saransk, e-mail: t.m.kaminskaya@mail.ru

The article presents a clinical case of coronavirus infection in a child with cystic fibrosis. The principles of diagnosis and complex treatment of combined pathology in a child are reflected. At the moment, it is known that the severe form of COVID-19 is less common in children than in adults. However, children are subject to at least two long-term consequences: multisystem inflammatory syndrome and long-term postcovid syndrome. Children with cystic fibrosis are considered a clinically vulnerable population group with an inherent higher risk of developing severe COVID-19, although some researchers have noted some variability in outcomes and hospitalization. According to statistics, the total number of all patients with cystic fibrosis in the Republic of Mordovia for 2020 in absolute numbers is 20 people, the number of adults in absolute numbers is 5 people. The share of patients in the federal district is 2.6%; the share in the general register is 0.5%. Coronavirus infection, protein-energy deficiency, toxic liver damage were the pathologies that complicated the course of the underlying disease in the immune-compromised body of the child. In this case, infant death is not preventable, given the presence of cystic fibrosis, coronavirus infection and severe respiratory failure that developed as a result of these diseases, which played a leading role in the thanatogenesis of the child.

**Keywords:** cystic fibrosis, covid-19, histology, pneumonia, children

Муковисцидоз является аутосомно-рецессивным моногенным наследственным заболеванием, которое характеризуется поражением всех экзокринных желёз, а также жизненно важных органов и систем [1]. Муковисцидоз – наиболее частая наслед-

ственная полиорганная патология с тяжелым течением и прогнозом, представляющая важную медико-социальную проблему в связи с низкой продолжительностью жизни [2]. Ген CFTR (МВТР – трансмембранный регулятор муковисцидоза) был иден-

тифицирован в 1989 г. Ген расположен в середине длинного плеча 7-й аутосомы, содержит 27 экзонов и охватывает 250 000 пар нуклеотидов. Он контролирует структуру и функцию одноименного белка. Последние исследования показали, что ген CFTR является собственным хлоридным каналом [3].

Согласно статистическим данным, общее число всех пациентов с муковисцидозом в Республике Мордовия на 2020 год в абсолютных числах составляет 20 человек, количество взрослых в абсолютных цифрах – 5 человек. Доля больных в федеральном округе – 2,6%; доля в общем регистре – 0,5% [4]. Появление COVID-19 поставило перед специалистами здравоохранения задачи, связанные с быстрой диагностикой и оказанием медицинской помощи больным. В настоящее время продолжают интенсивное изучение клинических и эпидемиологических особенностей заболевания, разработка новых средств его профилактики и лечения [5]. На данный момент известно, что тяжелая форма COVID-19 у детей встречается реже, чем у взрослых. Однако дети подвержены, по крайней мере, двум долгосрочным последствиям: мультисистемному воспалительному синдрому и длительному постковидному синдрому. Оба последствия могут проявляться даже у бессимптомных пациентов [6].

Заболеваемость COVID-19 во всем мире у детей была намного ниже, чем у взрослых, до появления вызывающего озабоченность варианта B.1.1.529 (Omicron). Было показано, что омикрон вызывает резкое увеличение числа детских инфекций и госпитализаций по сравнению с предыдущими вариантами [7]. Дети с муковисцидозом считаются клинически уязвимой группой населения с присущим им более высоким риском развития тяжелой формы COVID-19, хотя была отмечена определенная вариативность в отношении исходов и госпитализации. Панкреатическая недостаточность, обусловленная вариантами гена CFTR, приводит к тяжелым клиническим исходам, таким как прогрессирующее заболевание легких, недостаточность питания. Все эти факторы связаны с риском тяжелой инфекции SARS-CoV-2 [8]. Данные о заболеваемости коронавирусной инфекцией среди пациентов с диагнозом «муковисцидоз» скудны из-за различий в методах сбора данных между отдельными регистрами [9]. По состоянию на 8 марта 2021 года, по данным Европейского общества муковисцидоза, в общей сложности в 1126 случаях коронавирусной инфекции сопутствующей патологией был диагноз «муковисцидоз» [10].

#### *Клинический случай*

Пациент женского пола, возраст 3 года 4 месяца.

Из анамнеза жизни известно, что ребенок от 1-й беременности, первых родов. Беременность протекала на фоне угрозы выкидыша на сроке 15–16 недель. Роды путем операции кесарева сечения на сроке 36 недель. В возрасте 2 суток развилась клиника кишечной непроходимости. После дообследования выставлен диагноз «муковисцидоз».

В последующем девочка находилась на лечении в отделении муковисцидоза ГБУЗ Московского областного консультативно-диагностического центра с диагнозом «муковисцидоз, смешанная форма, среднетяжелое течение. Хронический бронхит. Хроническая панкреатическая недостаточность тяжелой степени. Генетический диагноз: CFTR~~dele~~2.3 (21 Kb)». В 2020 и 2021 годах неоднократно находилась на стационарном лечении с диагнозом: «внебольничная пневмония».

С 08.02 – 18.02.2022 года стационарное лечение с диагнозом: Основной: Коронавирусная инфекция COVID-19, вирус идентифицирован, тяжелое течение. Осложнение: Двусторонняя полисегментарная пневмония. Дыхательная недостаточность 2-й степени. Сопутствующий: Токсическое поражение печени, ассоциированное с коронавирусной инфекцией, минимальная биохимическая активность. Муковисцидоз, смешанная форма, среднетяжелое течение. Хроническая панкреатическая недостаточность, тяжелое течение.

Согласно лабораторно-инструментальным данным, отмечались постепенное нарастание D-димера от 563 до 2350 нг/мл, явления цитолиза с увеличением печеночных ферментов АЛТ до 81 Ед/л и АСТ до 161 Ед/л. Пациентке проводили лечение: инфузионная терапия, капли интерферон альфа-2b, ингибиторы протонного насоса, бронходилататоры, ингаляционные ГКС, дорназа-альфа, гепаринотерапия 200 ЕД/кг/сут с последующим снижением дозы, заместительная ферментотерапия, с гепатопротекторной целью Адеметионин. На фоне лечения отмечали положительную динамику. Выписана на амбулаторное наблюдение.

31.08.2022 года у ребенка отмечаются ухудшение состояния, выраженные катаральные явления, бронхообструкция. Тест на COVID-19 экспресс-методом положительный. Ребенок госпитализирован в Республиканскую инфекционную клиническую больницу. При обследовании КТ

органов грудной клетки от 07.09.2022 года: КТ признаки двухсторонней сегментарной пневмонии, множественные бронхоэктазы, вовлечение паренхимы справа 30%, слева 28%. Мазок из носо-/ротоглотки на COVID-19 методом ПЦР от 31.08.2022: РНК SARS CoV-2 обнаружена, Ct 22,5.

В стационаре находилась с 31.08.2022 по 19.09.2022 года с диагнозом: Основной: Коронавирусная инфекция COVID-19, вирус идентифицирован, тяжелое течение. Осложнение: Внебольничная двусторонняя сегментарная пневмония, тяжелое течение. Дыхательная недостаточность 2-й степени. Правосторонний гидроторакс. Сопутствующие: Белково-энергетическая недостаточность. Реактивный гепатит. На фоне проводимой терапии отмечали положительную динамику. Мазок из рото-/носоглотки на COVID-19 методом ПЦР от 19.09.22: РНК SARS CoV-2 не обнаружена.

Ухудшение состояния с 17.09.2022 года в виде выраженной слабости, появления липкого пота на лице, кашля, головной боли, одышки. Учитывая сопутствующую патологию, отрицательный тест на коронавирусную инфекцию, 19.09.2022 года переведена для дальнейшего лечения в ГБУЗ Республики Мордовия «ДРКБ», по тяжести состояния госпитализирована в отделение реанимации.

Объективно при поступлении: Общее состояние тяжелое за счет интоксикации, дыхательных нарушений. Вес 10,3 кг, рост 81 см. Z-score массы тела к возрасту составляет 2,99, что соответствует тяжелой недостаточности питания. Температура тела на малых субфебрильных и нормальных цифрах. Кожные покровы и слизистые оболочки бледно-розовые, липкие. Аускультативно дыхание в легких проводится по всем полям, ослаблено в нижних отделах, выслушиваются крепитация и мелкопузырчатые хрипы по всем полям, больше слева. Перкуторно тимпанический звук. SpO<sub>2</sub> 90% с инсуффляцией кислорода через носовые канюли 5 л/мин. ЧД до 46 в минуту. Тоны сердца ясные. Ритм правильный. ЧСС 130–140 в минуту. АД 114/82 мм рт. ст. Живот умеренно вздут, безболезненный. Перистальтика выслушивается. Печень +2,5 см из-под края реберной дуги. Стула не было. Мочиспускание самостоятельное. Диурез адекватный.

Согласно лабораторно-инструментальным данным, при поступлении у пациентки была анемия (гемоглобин капиллярной крови – 84 г/л), отмечались умеренный лейкоцитоз (лейкоциты – 14,2x10<sup>9</sup>/л) и тромбоцитопения (тромбоциты – 86x10<sup>9</sup>/л).

В динамике – падение уровня гемоглобина до 60 г/л и тромбоцитов до 70x10<sup>9</sup>/л, нарастание лейкоцитоза до 40x10<sup>9</sup>/л. В коагулограмме явления коагулопатии, нарастание D-димера до 4856 нг/мл. В биохимическом анализе крови явления цитолиза (АЛТ – 76 Ед/л, АСТ – 180 Ед/л, ГГТ – 98 Ед/л), увеличение СРБ до 18 мг/л.

Согласно данным УЗИ органов брюшной полости и почек: УЗ-признаки гепатомегалии с диффузными изменениями паренхимы; реактивные изменения в селезенке. На обзорной рентгенограмме органов грудной клетки в прямой проекции: R-картина выпотного плеврита справа. Диффузные интерстициальные изменения в легких.

20.09.2022 года собран врачебный консилиум, решением которого скорректирована терапия: подключена иммунокорректирующая терапия (внутривенный иммуноглобулин). Учитывая частые обострения инфекционно-воспалительного процесса в бронхолегочной системе, а также ранее проведенную антибактериальную терапию, не исключается возможная персистенция синегнойной инфекции. В связи с этим назначена комбинация Меропенема и Амикацина. Также нельзя полностью исключить возможность MRSA-инфекции, поэтому эмпирически назначен Ванкомицин.

21.09.2022 года состояние с отрицательной динамикой в виде внезапной остановки дыхательной и сердечной деятельности. При осмотре сознание отсутствует, кома 3-й степени. Зрачки одинаково умеренно расширены с обеих сторон, фотореакция вялая, рефлексы отсутствуют. Дыхание отсутствует, ребенок заинтубирован. Переведена на аппарат ИВЛ в принудительном режиме с инсуффляцией кислорода 100%. Аускультативно дыхание проводится по всем полям, ослаблено в нижних отделах, крепитирующие и мелкопузырчатые хрипы по всем полям, больше слева. На фоне ИВЛ постепенно начала восстанавливаться сатурация SpO<sub>2</sub> до 100%. Тоны сердца отсутствуют, немедленно начат непрямой массаж сердца. Реанимационные мероприятия проводились 30 минут и имели успех.

Рентгенография органов грудной клетки в прямой проекции: рентгенологическая картина напряженного субтотального пневмоторакса справа с дислокацией средостения влево.

Выполнено дренирование плевральной полости. На основании клиники и интраоперационных данных выставлен клинический диагноз: «спонтанный правосторонний пневмоторакс».

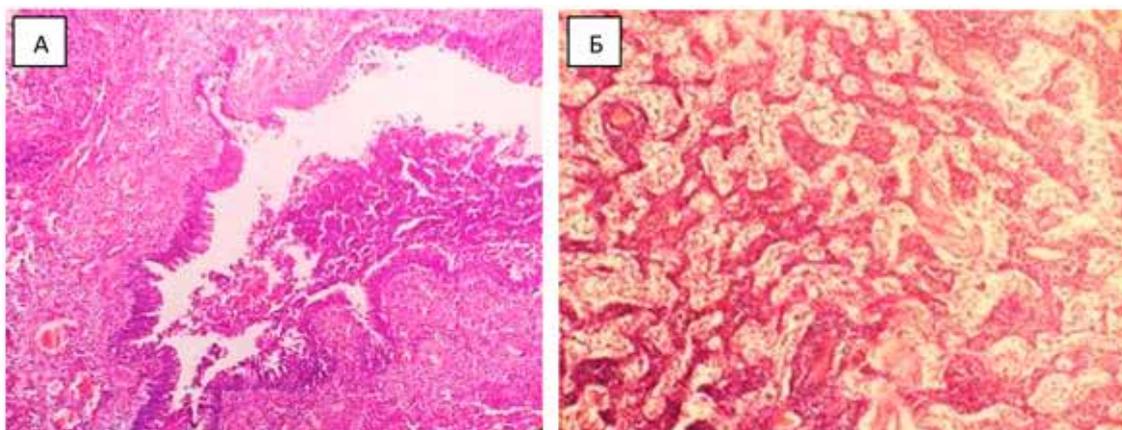
23.09.2022 года в 00:11 состояние с отрицательной динамикой в виде остановки сердечной деятельности (на ЭКГ зафиксирована асистолия), начаты реанимационные мероприятия в течение 3 минут – успешны. В качестве кардиотонической поддержки назначено титрование Допамина и Эпинефрина. В 4.40 вновь зафиксирована остановка сердечной деятельности, начаты реанимационные мероприятия, которые в течение 30 минут успеха не имели. Констатирована биологическая смерть.

При патологоанатомическом исследовании у ребенка диагностирована двусторонняя субтотальная вирусно-бактериальная пневмония, вызванная коронавирусной инфекцией COVID-19 в сочетании с *Klebsiella pneumoniae*. Констатированы морфологиче-

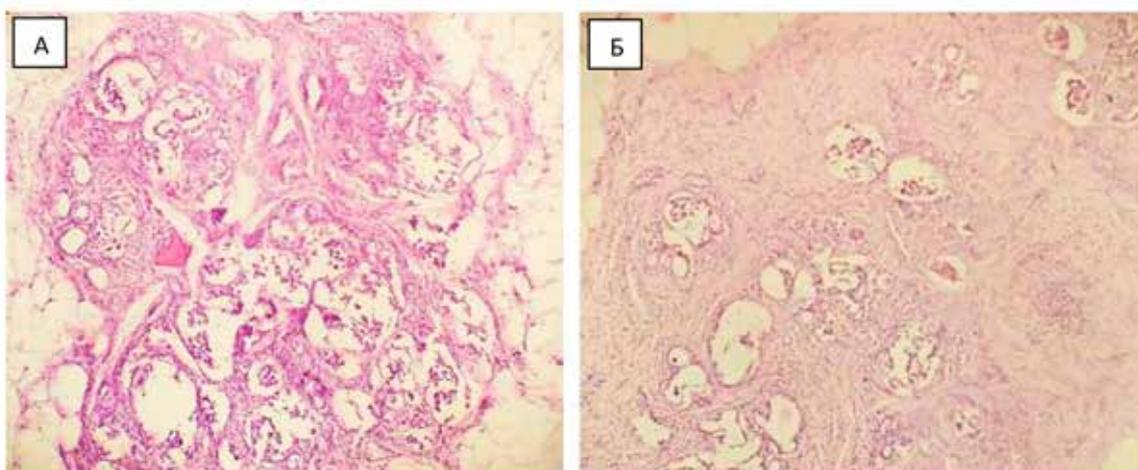
ские признаки острого респираторного дистресс-синдрома в пролиферативно-фибротической стадии.

#### *Гистологическое исследование*

В легких (рис. 1) отмечаются крупные фокусы интерстициального и внутриальвеолярного фиброза. Просвет бронхов и альвеол в части полей зрения неправильной формы, с очагами плоскоклеточной метаплазии эпителия. В просвете плотные базофильные массы с нейтрофилами, стенка с очагово-диффузной инфильтрацией лимфоцитами, единичными макрофагами, гистиоцитами и нейтрофилами. Перибронхиальная гиперплазия лимфоидных фолликулов. В просвете альвеол в части полей зрения эритроциты, в других – воспалительный экссудат.



*Рис. 1. Гистологический препарат легких  
А. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение x100  
Б. Окраска гематоксилин-эозин Увеличение x400*



*Рис. 2. Гистологический препарат поджелудочной железы  
А. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение x400  
Б. Окраска гематоксилин-эозин Увеличение x100*

Поджелудочная железа (рис. 2) практически полностью представлена жировой тканью, среди которой определяются единичные неправильной формы островки Лангерганса. Ацинусы и выводные протоки не прослеживаются. Имеются единичные кистозно-трансформированные протоки, содержащие гомогенные эозинофильные массы.

### Результаты исследования и их обсуждение

В данном наблюдении инфицирование ребенка коронавирусной инфекцией произошло дважды за календарный год. Вирус был идентифицирован путем исследования мазков из рото- и носоглотки методом ПЦР. К сожалению, в медицинской организации не удалось определить штамм коронавируса, который оказался возбудителем заболевания в обоих случаях. Лишь по клиническим данным, в том числе по характеру течения, можно предположить, что в первом случае, вероятно, был штамм Omicron, а во втором – штамм Delta.

Как известно, мутации гена муковисцидоза нарушают не только транспорт ионов хлора, но и их секрецию. Как следствие, увеличиваются реабсорбция ионов натрия железистыми клетками и дегидратация желёз внешней секреции. Поэтому выделяемый секрет становится густым и вязким [1]. Коронавирус SARS-CoV-2 сопряжен с тяжелым острым респираторным синдромом, причиной которого является цитокиновый шторм. Цитокиновый шторм сопровождается выбросом большого количества биологически активных веществ, приводящих к повышению проницаемости мелких сосудов легких, накоплению трансудата в интерстиции, частично в альвеолах, к отеку альвеолокапиллярной мембраны [5]. Эти два патогенетических фактора в совокупности привели к фатальным последствиям течения заболевания.

По данным имеющейся статистики, тяжелое течение коронавирусной инфекции у детей отмечается в среднем в 1% случаев, чаще всего осложненные формы болезни развиваются у детей с тяжелыми сопутствующими заболеваниями [11]. Описанных клинических случаев течения коронавирусной инфекции у детей с муковисцидозом крайне мало. Однако имелись сообщения и о летальных исходах.

Пациенты с муковисцидозом являются группой риска по тяжелому течению респираторных вирусных заболеваний. В связи с этим была создана программа наблюдения ECFS-COVID-19 для сбора информации по особенностям COVID-19 у пациентов

с муковисцидозом Европейского общества по муковисцидозу, направленная на оказание пациентам с муковисцидозом необходимой помощи [12]. Согласно последним данным программы наблюдения Европейского общества по муковисцидозу ECFS-COVID-19, по состоянию на 27.05.2020 случаи COVID-19 зарегистрированы в 13 странах из 35, согласившихся участвовать в сборе данных. Сообщается о 79 пациентах с описанием 72 случаев (34 мужчины и 38 женщин, 16 детей), включая российских больных. Заболевание протекало бессимптомно у 17 пациентов, легко – у 27, тяжело – у 7, критически – у 3. Общее число госпитализированных составило 41 человек, 6 из них нуждались в интенсивной терапии, 2 находились на искусственной вентиляции, 3 умерли [13].

### Заключение

По данным проведенных исследований, в том числе зарубежных, коронавирусная инфекция у детей с муковисцидозом протекает чаще всего в легкой и бессимптомной форме, однако отмечались и случаи с летальными исходами. В связи с этим описание каждого конкретного клинического наблюдения может представлять интерес для практикующих врачей. В представленном клиническом наблюдении рассмотрены специфические симптомы и течение COVID-19 у ребенка с муковисцидозом, их стремительное развитие и агрессивный характер, что в результате привело к летальному исходу. Поэтому необходимо тщательно подходить к вопросам профилактики коронавирусной инфекции у детей с муковисцидозом. В связи с вышеизложенным особо остро стоит вопрос о разработке этиотропного лечения и специфической профилактики COVID-19 у детей.

*От законного представителя (матери) пациентки получено письменное информированное добровольное согласие на публикацию описания клинического случая в научном журнале, включая его электронную версию (дата подписания 06.02.2023).*

### Список литературы

1. Клинические рекомендации: Кистозный фиброз (муковисцидоз). М.: Министерство Здравоохранения Российской Федерации, 2021. 89 с.
2. Шамсиев Ф.М., Узакова Ш.Б., Атажанов Х.П. Клинико-лабораторные особенности муковисцидоза у детей // Forcipe. 2022. Т. 5, № S2. С. 542-543.
3. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Куцев С.И., Авдеев С.Н., Полевиченко Е.В., Белевский А.С., Кондратьева Е.И., Симонова О.И., Каширская Н.Ю., Шерман В.Д., Воронкова А.Ю., Амелина Е.Л., Гембицкая Т.Е., Красовский С.А., Черменский А.Г., Степаненко Т.А., Селимзянова Л.Р., Вишнева Е.А., Горинова Ю.В., Рославцева Е.А., Ашерова И.К., Ильенкова Н.А., Зырянов С.К., Одинаева Н.Д.,

- Максимычева Т.Ю., Орлов А.В., Семькин С.Ю., Чернуха М.Ю., Шагинян И.А., Аветисян Л.Р., Шумкова Г.Л., Крылова Н.А., Дронов И.А., Костылева М.Н., Желенина Л.А., Клишко Н.Н., Борзова Ю.В., Васильева Н.В., Богомолова Т.С., Сперанская А.А., Баранова И.А., Фурман Е.Г., Шадрин В.В., Шапов Н.Ф., Петрова Н.В., Пашков И.В., Цирульникова О.М., Поляков Д.П., Свистушкин В.М., Синьков Э.В., Черных В.Б., Репина С.А., Благовидов Д.А., Костинов М.П., Кондратенко О.В., Лямин А.В., Поликарпова С.В., Поляков А.В., Адян Т.А., Гольдштейн Д.В., Бухарова Т.Б., Ефремова А.С., Овсянкина Е.С., Панова Л.В., Черкашина И.В. Современные подходы к ведению детей с муковисцидозом // *Педиатрическая фармакология*. 2022. Т. 19, № 2. С. 153-195. DOI: 10.15690/pf.v19i2.2417.
4. Регистр пациентов с муковисцидозом в Российской Федерации. 2020 год. / Под редакцией Е.И. Кондратьевой, С.А. Красовского, М.А. Стариновой, А.Ю. Воронковой, Е.Л. Амелиной, Н.Ю. Каширской, С.Н. Авдеева, С.И. Куцева. М.: ИД «МЕДПРАКТИКА-М», 2022. 68 с.
5. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)». Версия 16 (18.08.2022). [Электронный ресурс]. URL: [https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/060/193/original/BMP\\_COVID-19\\_V16.pdf](https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/060/193/original/BMP_COVID-19_V16.pdf) (дата обращения: 28.03.2023).
6. Lopez-Leon S., Wegman-Ostrosky T., Ayuzo Del Valle N.C. Long-COVID in children and adolescents: a systematic review and meta-analyses // *Sci Rep*. 2022. Vol. 12(1). P. 9950. DOI: 10.1038/s41598-022-13495-5.
7. Thouvenin G., Prevost B., Corvol H. The omicron wave modifies the COVID-19 paradigm in children with cystic fibrosis // *J. Infect Dis*. 2022. P. jiac328. DOI: 10.1093/infdis/jiac328.
8. Motisi M.A., Pellegrino R., Padoan R., Chiappini E. Risk factors for severe COVID-19 in people with cystic fibrosis: A systematic review // *Front Pediatr*. 2022. Vol. 10. P. 958658. DOI: 10.3389/fped.2022.958658.
9. Cosgriff R, Zampoli M, Elbert A. Clinical characteristics of SARS-CoV-2 infection in children with cystic fibrosis: An international observational study // *J. Cyst Fibros*. 2021. Vol. 20(1). P. 25-30. DOI: 10.1016/j.jcf.2020.11.021.
10. Lway Faisal Abdulrazak, Mohammad Khursheed Alam, Md. Rezwana Islam et al. Discovering Common Pathophysiological Processes between COVID-19 and Cystic Fibrosis by Differential Gene Expression Pattern Analysis // *BioMed Research International*. 2022. Vol. 2022. Art. ID 8078259. 12 p. DOI: 10.1155/2022/8078259.
11. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Методические рекомендации. Особенности клинических проявлений и лечения заболевания, вызванного новой коронавирусной инфекцией (COVID-19) у детей. Версия 2 (03.07.2020). [Электронный ресурс]. URL: [https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/050/914/original/03062020\\_дети\\_COVID-19\\_v2.pdf](https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/050/914/original/03062020_дети_COVID-19_v2.pdf) (дата обращения: 28.03.2023).
12. Кондратьева Е.И., Горелов А.В., Жекайте Е.К., Горинова Ю.В., Николаева С.В., Бицуева А.В. COVID-19 у детей и подростков с муковисцидозом // *Вопросы практической педиатрии*. 2022. Т. 17, № 3. С. 33-39. DOI: 10.20953/1817-7646-2022-3-33-39.
13. Кондратьева Е.И., Красовский С.А., Каширская Н.Ю., Амелина Е.Л., Жекайте Е.К., Шерман В.Д., Симонова О.И., Горинова Ю.В., Бойцова Е.В., Мухина М.А., Бутюгина И.Н., Макарова М.А., Малахов А.Б. COVID-19 у больных муковисцидозом // *Пульмонология*. 2020. Т. 30, № 5. С. 544-552. DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-5-544-552.

## НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 616.72-002.772

**БИОМАРКЕРЫ ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ОТВЕТА  
И ПРОГНОЗА ТЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЯ ПРИ НЕСИСТЕМНОМ  
ЮВЕНИЛЬНОМ ИДИОПАТИЧЕСКОМ АРТРИТЕ**

**Хальчицкий С.Е., Грачева Ю.А., Печальнова С.А., Буслов К.Г., Виссарионов С.В.**  
*ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии  
и ортопедии имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации,  
Санкт-Петербург, Пушкин, e-mail: s\_khalchitski@mail.ru*

Поиск биомаркеров ювенильного идиопатического артрита (ЮИА) является многообещающей и быстро расширяющейся областью исследований. Выявленные биомаркеры могут помочь в анализе клинической гетерогенности заболевания, измерить параметры активности болезни, предсказать клиническую ремиссию, рецидив, реакцию на лекарства, течение во времени, осложнения, предотвратить обострения болезни. Современная генерация молекулярных и клеточных биомаркеров (аутоантитела, острофазовые белки воспаления, цитокины, хемокины, маркеры активации сосудистого эндотелия, иммуноглобулины, компоненты системы комплемента, субпопуляции лимфоцитов, продукты метаболизма костной и хрящевой ткани, внутриклеточные сигнальные молекулы, протеазы, генетические, эпигенетические, транскриптомные маркеры) является важным инструментом для профилактики, ранней диагностики, оценки активности, скорости прогрессирования, клинико-лабораторных субтипов ЮИА, прогнозирования эффективности терапии и риска развития нежелательных реакций на фоне лечения. Расшировка ключевых патогенетических механизмов ЮИА позволила идентифицировать молекулярные и клеточные биомаркеры, которые могут быть использованы в качестве терапевтических мишеней. Включение достоверных и надежных биомаркеров в стандартную клиническую помощь может помочь разрабатывать более эффективные схемы лечения, адаптированные для конкретных пациентов, и улучшать терапевтические стратегии. Установление биомаркеров, которые предсказывают риск обострения заболевания, может привести к определению оптимальных способов прекращения лечения после достижения клинической ремиссии.

**Ключевые слова:** ювенильный артрит, биомаркеры, предикторы, ремиссия, рецидив, реакция на лечение

**BIOMARKERS OF THERAPEUTIC RESPONSE AND DISEASE PROGNOSIS  
IN NON-SYSTEMIC JUVENILE IDIOPATHIC ARTHRITIS**

**Khalchitskiy S.E., Gracheva Yu.A., Pechalnova S.A., Buslov K.G., Vissarionov S.V.**  
*G. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery of Ministry  
of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Pushkin, e-mail: s\_khalchitski@mail.ru*

The search for biomarkers of juvenile idiopathic arthritis (JIA) is a promising and rapidly expanding area of research. The identified biomarkers can help analyze the clinical heterogeneity of the disease, measure disease activity parameters, predict clinical remission, relapse, drug response, time course, complications, and prevent disease exacerbations. Modern generation of molecular and cellular biomarkers (autoantibodies, acute phase inflammatory proteins, cytokines, chemokines, vascular endothelial activation markers, immunoglobulins, components of the complement system, lymphocyte subpopulations, metabolic products of bone and cartilage tissue, intracellular signaling molecules, proteases, genetic, epigenetic, transcriptome markers) is an important tool for prevention, early diagnosis, assessment of activity, progression rate, clinical and laboratory subtypes of JIA, predicting the effectiveness of therapy and the risk of developing adverse reactions during treatment. Deciphering the key pathogenetic mechanisms of JIA has made it possible to identify molecular and cellular biomarkers that can be used as therapeutic targets. Incorporating valid and reliable biomarkers into standard clinical care can help develop more effective patient-tailored treatment regimens and improve therapeutic strategies. Establishing biomarkers that predict the risk of exacerbation of the disease may lead to the determination of the optimal ways to stop treatment after achieving clinical remission.

**Keywords:** juvenile arthritis, biomarkers, predictors, remission, relapse, treatment response

Термин «ювенильный идиопатический артрит» (ЮИА) охватывает все формы артрита, которые начинаются в возрасте до 16 лет, персистируют на протяжении более 6 недель и имеют неизвестную причину [1–3]. Это наиболее распространенное ревматическое заболевание в детском возрасте и одна из основных причин детской инвалидности. ЮИА относится к гетерогенной группе заболеваний с различными клиническими фенотипами, течением и исходом,

имеющей в своей основе возможную генетическую предрасположенность и соответствующие патофизиологические процессы. Классификация Международной лиги ревматологических ассоциаций (ILAR) выделяет семь категорий заболеваний, определяемых на основе клинических и лабораторных признаков, присутствующих в первые 6 месяцев болезни [1]. Однако эта классификация неоднократно подвергалась критике, и выдвигались предложения о ее пересмотре [4].

За последние два десятилетия был достигнут значительный прогресс в методах лечения ЮИА, что включает в себя разработку новых терапевтических агентов и стратегий комбинированного лечения [5]. В целом эти новшества привели к достижению стойкой ремиссии или минимальному уровню активности болезни, что является реальной перспективой для большинства детей с ЮИА [6].

Несмотря на эти достижения, остается несколько нерешенных проблем, которые включают, помимо прочего, невозможность предсказать течение и исход заболевания на ранних стадиях, отсутствие надежных показателей ответа на лечение и риск обострения заболевания после прекращения терапии, а также невозможность прогнозирования связанных с ЮИА осложнений, таких как увеит или синдром активации макрофагов (MAS).

Современные представления о том, что генетические, биологические, биохимические или молекулярные биомаркеры могут быть использованы для распознавания и мониторинга нормального или аномального биологического процесса имеют диагностическое или прогностическое значение при различных заболеваниях, вызвали растущий интерес к их использованию в случае ЮИА для прогнозирования клинических фенотипов, тяжести заболевания, ответа на лечение, течения болезни во времени и осложнений, связанных с болезнью.

Цель данного исследования заключается в анализе имеющегося опыта, накопленного за последние годы, при разработке и применении биомаркеров с целью прогнозирования исходов при ЮИА.

#### *Классификация категорий ЮИА*

Согласно критериям ILAR, следующие шесть категорий входят в группу несистемного ЮИА: олигоартрит, в зависимости от наличия ревматоидного фактора (RF) – RF-положительный полиартрит, RF-отрицательный полиартрит, энтезит-ассоциированный артрит (ERA), псориатический артрит и недифференцированный артрит. Олигоартрит подразделяется на персистирующую и расширенную формы в зависимости от того, остается ли артрит ограниченным четырьмя или менее суставами на протяжении всего течения болезни или распространяется на пять или более суставов после первых шести месяцев течения болезни. Некоторые лабораторные биомаркеры используются для идентификации конкретных категорий заболеваний. К ним относятся RF, наличие или отсутствие которого определяет RF-положительный

или RF-отрицательный полиартрит, соответственно, и человеческий лейкоцитарный антиген (HLA)-B27, представляющий собой генетический показатель, тесно связанный со спондилоартропатиями и являющийся одним из критериев ERA.

Наличие RF связано с более высоким риском агрессивного течения, развития структурного поражения суставов и инвалидизации [7]. Несмотря на то, что антинуклеарные антитела (ANA) не включены в текущую классификацию, было обнаружено, что их присутствие позволяет идентифицировать однородную популяцию пациентов, которые в настоящее время отнесены к различным категориям заболеваний по критериям ILAR. Это наблюдение привело к предположению, что ANA-положительные пациенты должны быть выделены в отдельную категорию в классификации ЮИА [8]. Примечательно, что недавнее предложение о новых критериях классификации определило новую категорию раннего ANA-позитивного ЮИА [4]. Было предложено определение положительности ANA: как минимум два положительных результата с интервалом не менее трех месяцев при непрямой иммунофлюоресценции (IF) с титром  $\geq 1:160$  [8].

#### *Патогенез ЮИА*

Фактор некроза опухоли (TNF) $\alpha$  играет важную роль в иммунопатогенезе ЮИА, являясь одним из первичных стимуляторов продукции IL-1 в культурах синовиальных клеток. Неудивительно, что применение ингибиторов TNF, препаратов, которые эффективно связывают и нейтрализуют растворимый TNF $\alpha$ , привело к заметному улучшению терапевтического эффекта и долгосрочного прогноза у пациентов с ЮИА. Rooney et al. наблюдали более высокие уровни синовиального TNF $\alpha$  у пациентов с полиартикулярным заболеванием, чем у пациентов с олигоартритом [9].

Недавно Maggi et al. проанализировали роль различных субпопуляций эффекторных клеток Т-хелперов (Th) в патогенезе олигоартикулярного ЮИА. В частности, было показано, что особо важными в этом процессе являются клетки Th17 и Th1: лимфоциты Th1 за счет продукции провоспалительных цитокинов интерферона (IFN)- $\gamma$  и TNF $\alpha$ ; Th17-лимфоциты благодаря трансформации в сторону неклассического Th1-фенотипа. Фактически, в присутствии местных воспалительных цитокинов, таких как IL-12 и TNF $\alpha$ , клетки Th17 приобретают способность продуцировать IFN- $\gamma$  как клетки Th17/Th1, быстро теряя секрецию IL-17 подобно неклассическим Th1 [10]. Подмножества Th1-клеток осуществляют

свою функцию, индуцируя экспрессию сиалогликопротеина CD106 на синовиальных фибробластах, который способствует адгезии лейкоцитов и эндотелиальных клеток и сигналингу и чья активация имеет решающее значение для удержания лейкоцитов в воспаленной синовиальной оболочке [11]. Примечательно, что ингибиторы TNF препятствуют как трансформации клеток Th17 в клетки Th1, так и опосредованной TNFα активации CD106 на синовиальных фибробластах [10]. Кроме того, все эти подмножества CD4+ Т-клеток экспрессируют CH3LI, хитиназоподобный белок, не имеющий ферментативной активности, который является хорошо известным маркером воспаления при некоторых иммуноопосредованных расстройствах. Уровни CH3LI повышены в синовиальной жидкости у детей с олигоарткулярным ЮИА и положительно коррелируют с другими воспалительными параметрами [12].

Что касается полиартикулярного ЮИА, Throm et al. исследовали аномалии передачи сигналов в иммунных клетках пациентов, ранее не получавших терапию, с помощью масс-цитометрии. Авторам удалось идентифицировать аномально высокий сигналинг IFN-γ в CD4+ Т-клетках и моноцитах этих пациентов, это обеспечило стимул к исследованию препаратов, которые препятствуют сигналингу IFN-γ при этом заболевании, лечение которого часто представляет собой сложную задачу [13].

Недавно Nagy et al. исследовали влияние различных видов терапии ЮИА (метотрексатилиметотрексат + адалимумаб) на субпопуляции лейкоцитов у пациентов с олиго- или полиартикулярным течением. Также была обследована контрольная группа здоровых sibсов. Авторы обнаружили, что абсолютное количество CD3+ Т-клеток было значительно выше нормы, в то время как количество CD56+ естественных клеточных киллеров было значительно ниже у пациентов, получавших биологическую терапию, по сравнению со здоровым контролем. Значительная разница также была продемонстрирована между двумя группами терапии в отношении CD19+ В-клеток. Авторы предположили, что количественные изменения, обнаруженные в группе метотрексат + адалимумаб, могут быть результатом более агрессивного течения заболевания, а не просто следствием терапии против TNFα [14].

#### *Прогнозирование течения и исхода заболевания*

Поскольку ЮИА является воспалительным заболеванием, непосредственное клиническое представление об активности

и тяжести заболевания в рутинных клинических условиях дают анализы традиционных реагентов острой фазы, скорости оседания эритроцитов (СОЭ) и С-реактивного белка (СРБ). Было обнаружено, что при олигоартрите первичная СОЭ выше 100 мм/ч связана с наиболее неблагоприятным исходом [15–17], тогда как повышенный СРБ предполагал полиартикулярное осложнение [18].

Изучая дифференциальную экспрессию микроРНК (miRNA) плазмы, Ma et al. обнаружили, что miR-16 и miR-146a в плазме могут служить маркерами активности заболевания, поскольку их концентрации коррелируют с количеством пораженных суставов и оценкой магнитно-резонансной томографии при ювенильном артрите (JAMRIS) [19].

Был предложен ряд клинических предикторов распространения заболевания при олигоартрите, включая раннее наличие заболевания голеностопного сустава и/или запястья, поражение более одного сустава, артрит по крайней мере одной верхней конечности и симметричное поражение суставов [15–17]. Кроме того, у детей с персистирующим или прогрессирующим течением были обнаружены значительно отличающиеся иммунологические характеристики в синовиальном инфильтрате с заметно большим обогатением Т-клетками, продуцирующими интерлейкин (IL)-17, в суставах детей с затяжным фенотипом [20].

Вполне возможно, что иммунные регуляторные механизмы играют важную роль в относительно доброкачественном, часто саморазрешающемся или даже самокупирующемся течении персистирующего олигоартicularного ЮИА. Одним из основных механизмов регуляции могут быть CD4+ CD25+ регуляторные Т-клетки (Tregs). Чтобы понять роль этих лимфоцитов в контроле аутоиммунного процесса при персистирующем олигоартрите, de Kleer et al. оценили уровни FoxP3, специфического маркера активных CD4+ CD25+ Tregs клеток в периферической крови пациентов с олигоартicularным ЮИА. У пациентов с персистирующим олигоартicularным течением обнаруживались более высокие уровни матричной РНК (мРНК) FoxP3, чем у пациентов с прогрессирующим заболеванием, что подтверждает потенциальную роль пути Tregs во влиянии на тяжесть течения ЮИА с олигоартicularным началом [21]. В соответствии с этими наблюдениями Ruprecht et al. обнаружили более низкую долю CD4+ CD25+ CD27+ Tregs клеток, экспрессирующих большое количество FoxP3, у пациентов с полиартритом, чем у пациентов с олигоартритом [22]. Разработка терапев-

тических агентов, ингибирующих специфические цитокины, такие как IL-7 и IL-15, которые ограничивают супрессорную функцию Tregs, может быть потенциально подходящей для восстановления функции этих клеток.

Анализ подтипов Т-клеток в синовиальной жидкости может представлять собой еще один полезный метод для дифференциации пациентов с олигоарткулярным или полиарткулярным течением. Профилируя протеом синовиальной жидкости 22 детей с ЮИА, Gibson et al. обнаружили, что отдельные белки и их посттрансляционная модификация различались у детей, чье заболевание осталось олигоарткулярным, и у детей с последующим полиарткулярным поражением [23]. Сосредоточив внимание на соотношении CD4<sup>+</sup>:CD8<sup>+</sup> Т-клеток, они обнаружили, что CD8<sup>+</sup> преобладают в группе, склонной к полиарткулярному развитию заболевания. Более того, в той же группе были выше уровни С-С хемокинового лиганда 5 (CCL5), хемокина, влияющего на миграцию CD8<sup>+</sup> Т-клеток [21].

#### *Прогнозирование терапевтического ответа*

В ряде исследований оценивалась роль биомаркеров в прогнозировании терапевтического ответа или в руководстве терапевтическим вмешательством при несистемном ЮИА. Было выявлено, что более высокий исходный уровень СОЭ связан с хорошим ответом на метотрексат (МТ), что позволяет предположить, что дети с более выраженным системным воспалением могут быть более склонны к положительному эффекту от терапевтических вмешательств [24, 25]. Также наличие ANA коррелирует с лучшим ответом на метотрексат, но не с частотой ремиссии [26].

Cattalini et al. исследовали биомаркерный состав синовиальной жидкости, полученной во время внутрисуставного введения кортикостероидов [27]. Их цель состояла в том, чтобы определить факторы, прогнозирующие продолжительность терапевтического эффекта. Уровни матриксной металлопротеиназы 3 (ММП-3), ИЛ-6 и ИЛ-10 коррелировали с исходом через 6 и 12 месяцев. В частности, более высокие уровни IL-6 и IL-10 предсказывали более короткое время до рецидива синовиального воспаления и большую продолжительность эффекта кортикостероидов.

Kahn et al. обнаружили, что циркулирующие уровни TNF $\alpha$  увеличивались у детей с ЮИА после начала лечения этанерцептом, первым доступным ингибитором TNF [28]. Это, казалось бы, парадоксальное увеличе-

ние можно было бы объяснить образованием комплексов между TNF $\alpha$  и ингибитором TNF, что способствовало пролонгированному сохранению препарата в кровотоке. Было обнаружено, что увеличение этих комплексов через шесть недель после начала лечения прогнозирует долгосрочную эффективность этанерцепта. Авторы предположили, что корреляция между повышением уровня TNF $\alpha$  и сохранением препарата в организме может идентифицировать подгруппу пациентов с патологическим процессом, в большей степени обусловленным TNF $\alpha$ .

Кальгранулины являются наиболее известными белками S100 и известны как миелоидные белки (MRP). К ним относятся S100A8, S100A9 и S100A12; первые два могут димеризоваться в гетерокомплекс S100A8/A9, также известный как MRP8/14 или кальпротектин. S100A8 и S100A9 представляют собой цитоплазматические белки, экспрессируемые фагоцитами, которые индуцируют секрецию нескольких провоспалительных цитокинов, включая IL-6, TNF $\alpha$  и IL-1 $\beta$ ; S100A12 представляет собой провоспалительный белок, преимущественно секретруемый гранулоцитами, который способствует врожденным иммунным реакциям, включая хемотаксическую активность и активацию внутриклеточных сигнальных каскадов, ведущих к продуцированию цитокинов и индукции окислительного стресса. Считается, что маркер активации нейтрофилов S100A12 и маркер активации фагоцитов MRP8/14 вместе с высокочувствительным СРБ (hsСРБ) указывают на субклиническое воспаление на молекулярном уровне. В проспективном исследовании со всеми представленными типами ЮИА Moncrieffe et al. продемонстрировали, что пациенты с более высокими уровнями MRP8/14 до начала лечения с большей вероятностью имели лучший ответ на лечение через 6 месяцев наблюдения [25]. Такая же корреляция между исходными уровнями MRP-8/14 и ответом на лечение наблюдалась Anink et al., которые проанализировали данные из трех национальных регистров, включая пациентов, которые получали этанерцепт или адалимумаб в качестве первого биологического лечения [29].

Marrasco et al. исследовали, коррелируют ли аномалии субпопуляций В-клеток у пациентов с олиго- и полиарткулярным ЮИА с клиническими особенностями и реакцией на терапию. Было продемонстрировано, что переключаемые В-клетки памяти умножаются в процессе заболевания быстрее, чем у здоровых людей, и что это умножение более заметно у пациентов с ранним началом ЮИА. Интересно, что ингибито-

ры TNF способны блокировать это умножение у пациентов со стойкой ремиссией, но не у пациентов с персистентно активным заболеванием [30].

Недавно Mo et al. разработали модель с хорошей воспроизводимостью для раннего прогнозирования эффективности этанерцепта при лечении ЮИА с использованием передовых алгоритмов машинного обучения. В окончательную модель были включены такие параметры, как количество пораженных суставов, временной интервал, процентное содержание лимфоцитов и масса тела. Авторы предложили использовать этот простой инструмент для раннего прогнозирования реакции на этанерцепт и предотвращения неэффективности лечения или побочных эффектов [31].

При проведении молекулярно-генетических исследований несколько однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) оказались связаны с ответом на лечение при ЮИА, причем ABCB1 и ABCG3 коррелировали с хорошим ответом на метотрексат по многим категориям ЮИА (ILAR) [32]. С другой стороны, SNP в области SLC19A1 были связаны с более слабым ответом на метотрексат [32].

#### *Прогнозирование рецидива заболевания*

Было выявлено, что уровни кальгранулинов и hsCRP, измеренные в период отмены лечения, могут предсказать возникновение обострений. В частности, S100A12 и MRP-8/14 показали себя вполне достоверно в прогнозировании ранних обострений в течение 3 месяцев после прекращения лечения. Напротив, hsCRP может добавить некоторую информацию для прогнозирования более поздних вспышек. На основании этих результатов было высказано предположение, что анализы этих биомаркеров могут использоваться в клинической практике для стратификации с учетом риска при принятии решений о прекращении или продолжении терапии после достижения ремиссии заболевания [33, 34].

Отсутствие рекомендаций по отмене ингибиторов TNF является нерешенной проблемой, поскольку у многих пациентов после прекращения терапии возникает обострение, несмотря на отсутствие клинической активности во время лечения. Leong et al. идентифицировали уникальную дискриминационную иммуно-транскриптомную сигнатуру, связанную с рецидивом через 8 месяцев после прекращения биологической терапии. В частности, пациенты с рецидивом были обогащены воспалительной подгруппой памяти CD4 (CD4+CD45RA-TNFα+), заметно дефицитной

по иммунным контрольным точкам (PD1-CD152-) [35]. Идентификация этих подмножеств памяти CD4 с нарушенной регуляцией может помочь в определении клинического предопределения еще до отмены терапии. Более того, понимание этих механизмов может стать целью будущих терапевтических вмешательств.

Повторное введение биологических агентов часто является высокоиммуногенным и может вызвать образование нежелательных антилекарственных антител (ADA), что частично может купироваться одновременным введением метотрексата [36]. Формирование ADA задокументировано для всех лицензированных биологических препаратов при ЮИА, но их эффекты варьируются для разных препаратов. В частности, только ADA при применении адалимумаба (рекомбинантные человеческие моноклональные антитела против TNFα) и инфликсимаба (химерные человеческо-мышинные моноклональные антитела против TNFα) связаны со снижением сквозных уровней и потерей эффективности [36–39]. Таким образом, существует потенциальная клиническая важность мониторинга ADA и сквозных концентраций, особенно у пациентов, получающих монотерапию адалимумабом и инфликсимабом.

Критически важный вопрос, который часто задают родители, а также врачи, заключается в том, когда и можно ли детям в состоянии ремиссии уменьшить или прекратить фармакотерапию. Полное понимание того, что такое ремиссия на клеточном и молекулярном уровне, может помочь врачам в принятии соответствующего решения.

Jiang et al. изучали экспрессию генов мононуклеарных клеток периферической крови (МКПК) и гранулоцитов больных ЮИА, с использованием полногеномных технологий. Они обнаружили, что ремиссия при ЮИА, вызванная метотрексатом или метотрексатом в сочетании с ингибитором TNF, характеризуется многочисленными различиями в экспрессии генов в PBMC и гранулоцитах. Существенные различия между детьми в стадии ремиссии и здоровым контролем наблюдались в профилях экспрессии гранулоцитов, в общей сложности 207 дифференциально экспрессируемых генов, что подтверждает фундаментальную роль нейтрофилов в патогенезе ЮИА и их реакции на терапию. Таким образом, было продемонстрировано, что ремиссия – это не восстановление иммунологической нормы, а скорее переупорядочение профилей транскрипции таким образом, что провоспалительные реакции уравниваются противовоспалительными реакциями [40].

Основные биомаркеры для прогнозирования исхода и терапевтического ответа при несистемном ЮИА

Биомаркеры периферической крови	Направление тренда	Клиническое значение
ESR	Повышается	Ассоциируется с неблагоприятным исходом при олигоартрите. Прогнозирует хороший ответ на метотрексат
СРБ	Повышается	Прогнозирует риск расширения артрита при олигоартрите
hsСРБ	Повышается	Прогнозирует возникновение рецидива при отмене лечения
S100A8, S100A9	Повышается	Прогнозирует реакцию на метотрексат и биотерапию
S100A12	Повышается	Прогнозирует реакцию на метотрексат и биологические препараты. Прогнозирует возникновение рецидива после отмены лечения.
FoxP3 (маркер активных Tregs)	Повышается	Коррелирует со стойким олигоартикулярным течением
Tnfa/Tnf комплексные ингибиторы	Повышается	Прогнозирует долгосрочную эффективность этанерцепта через 6 недель после начала лечения.
miR-16, miR-146a	Повышается	Сопоставимо с количеством пораженных суставов и JAMRIS
Синовиальная жидкость		
CCL5	Повышается	Прогнозирует риск расширения артрита при олигоартрите
CD4+:CD8+Тклетки соотношение	Понижается	Прогнозирует риск расширения артрита при олигоартрите
IL-6	Повышается	Прогнозирует более короткое время до рецидива синовита
IL-10	Повышается	Предсказывает более продолжительный эффект кортикостероидов
Tnfa	Повышается	Коррелирует с полиартикулярным течением заболевания
CH3LI	Повышается	Коррелирует с воспалительными параметрами при олигоартрите

Исходя из этих данных, необходимы лонгитюдные исследования для выявления биомаркеров, полезных для оптимизации терапевтических решений.

В таблице суммарно представлены основные биомаркеры несистемного ЮИА, обсуждаемые в данной статье.

### Заключение

В последние годы наблюдается повышенный интерес к разработке биомаркеров ЮИА. Наличие надежных и зарекомендовавших себя биомаркеров может помочь лучше охарактеризовать генетическую, иммунологическую и клиническую гетерогенность заболевания и, как следствие, сделать возможной более точную и рациональную классификацию. Кроме того, биомаркеры могут представлять точные параметры для количественной оценки уровня активности заболевания, определять ремиссию заболевания «биологически», а не только на основании клинических данных, оценивать терапевтический ответ, прогнозировать обострение после достижения ремиссии, предупреждать риск осложнений, а также управлять терапевтическим выбором.

Однако до сих пор ни один из них не оказался достаточно надежным, чтобы заслуживать включения в повседневную клиническую практику или клинические испытания. Кроме того, многообещающая роль некоторых биомаркеров не подтверждена исследованиями или является спорной. Таким образом, существует необходимость в дальнейших исследованиях, направленных на тщательную проверку достоверности предложенных биомаркеров в максимально расширенной популяции пациентов в различных клинических и исследовательских условиях. Кроме того, следует продолжать поиск новых биомаркеров, используя преимущества последних научных достижений и наличие современных продвинутой методологий для генетических и иммунологических исследований.

### Список литературы

1. Malattia C., Martini A. Juvenile Idiopathic Arthritis. The Autoimmune Diseases. 2020. P. 675–690. DOI:10.1016/b978-0-12-812102-3.00035-x.
2. Ravelli A., Schiappapietra B., Verazza S., Martini A. Juvenile Idiopathic Arthritis. The Heart in Rheumatic, Autoimmune and Inflammatory Diseases. 2017. P. 167–187. DOI: 10.1016/b978-0-12-803267-1.00007-7.

3. Barut K., Adrovic A., Şahin S., et al. Juvenile Idiopathic Arthritis // *Balk Med J*. 2017. Vol. 34. No. 2. P. 90–101. DOI: 10.4274/balkanmedj.2017.0111.
4. Martini A., Ravelli A., Avcin T., et al. Toward New Classification Criteria for Juvenile Idiopathic Arthritis: first Steps. Pediatric Rheumatology International Trials Organization International Consensus // *J Rheumatol*. 2019. Vol. 46. No. 2. P. 190–197. DOI: 10.3899/jrheum.180168.
5. Giancane G., Alongi A., Rosina S., et al. Recent therapeutic advances in juvenile idiopathic arthritis // *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2017. Vol. 31. No. 4. P. 476–487. DOI: 10.1016/j.berh.2018.01.001.
6. Ravelli A., Consolaro A., Horneff G., et al. Treating juvenile idiopathic arthritis to target: recommendations of an international task force // *Ann Rheum Dis*. 2018. Vol. 77. No. 6. P. 819–828. DOI: 10.1136/annrheumdis-2018-213030.
7. Mahmud S.A., Binstadt B.A. Autoantibodies in the pathogenesis, diagnosis, and prognosis of juvenile idiopathic arthritis // *Front Immunol*. 2019. Vol. 10. P. 1–10. DOI: 10.3389/fimmu.2018.03168.
8. Ravelli A., Varnier G., Oliveira S., et al. Antinuclear antibody-positive patients should be grouped as a separate category in the classification of juvenile idiopathic arthritis // *Arthritis Rheum*. 2011. Vol. 63. No. 1. P. 267–275. DOI: 10.1002/art.30076.
9. Rooney M., Varsani H., Martin K., et al. Tumour necrosis factor alpha and its soluble receptors in juvenile chronic arthritis // *Rheumatology*. 2000. Vol. 39. No. 4. P. 432–438. DOI: 10.1093/rheumatology/39.4.432.
10. Maggi L., Mazzoni A., Cimaz R., et al. Th17 and Th1 Lymphocytes in Oligoarticular Juvenile Idiopathic Arthritis // *Front Immunol*. 2019. Vol. 10. P. 450. DOI: 10.3389/fimmu.2019.00450.
11. Maggi L., Margheri F., Luciani C., et al. Th1-Induced CD106 Expression Mediates Leukocytes Adhesion on Synovial Fibroblasts from Juvenile Idiopathic Arthritis Patients // *PLoS One*. 2016. Vol. 11. No. 4. P. e0154422. DOI: 10.1371/journal.pone.0154422.
12. Capone M., Maggi L., Santarlasci V., et al. Chitinase 3-like-1 is produced by human Th17 cells and correlates with the level of inflammation in juvenile idiopathic arthritis patients // *Clin Mol Allergy*. 2016. Vol. 14. P. 16. DOI: 10.1186/s12948-016-0053-0.
13. Throm A.A., Moncrieffe H., Orandi A.B., et al. Identification of enhanced IFN- $\gamma$  signaling in polyarticular juvenile idiopathic arthritis with mass cytometry // *JCI Insight*. 2018. No. 3 (15):15. DOI: 10.1172/jci.insight.121544.
14. Nagy A., Mosdosi B., Simon D., et al. Peripheral Blood Lymphocyte Analysis in Oligo- and Polyarticular Juvenile Idiopathic Arthritis Patients Receiving Methotrexate or Adalimumab Therapy: a Cross-Sectional Study // *Front Pediatr*. 2020. Vol. 8. P. 1–8. DOI: 10.3389/fped.2020.614354.
15. Alberdi-Saugstrup M., Zak M., Nielsen S., Herlin T., Nordal E., Berntson L., Fasth A., Rygg M., Klaus Müller. Nordic Study Group of Pediatric Rheumatology (NoSPeR). High-sensitive CRP as a predictive marker of long-term outcome in juvenile idiopathic arthritis // *Rheumatol Int*. 2017. Vol. 37 (5). P. 695–703. DOI: 10.1007/s00296-017-3657-x.
16. Al-Matar M., Petty R., Tucker L., et al. The early pattern of joint involvement predicts disease progression in children with oligoarticular (pauciarticular) juvenile rheumatoid arthritis // *Arthritis Rheum*. 2002. Vol. 46. No. 10. P. 2708–2715. DOI: 10.1002/art.10544.
17. Felici E., Novarini C., Magni-Manzoni S., et al. Course of joint disease in patients with antinuclear antibody-positive juvenile idiopathic arthritis // *J Rheumatol*. 2005. Vol. 32. No. 9. P. 1805–1810. PMID: 16142881.
18. Schiappapietra B., Bava C., Rosina S., et al. A prediction rule for polyarticular extension in oligoarticular-onset juvenile idiopathic arthritis // *Clin Exp Rheumatol*. 2021. Vol. 39. No. 4. P. 913–919. DOI: 10.55563/clinexprheumatol/uxnm7j.
19. Ma X., Wu F., Xin L., et al. Differential plasma microRNAs expression in juvenile idiopathic arthritis // *Mod Rheumatol*. 2016. Vol. 26. No. 2. P. 224–232. DOI: 10.3109/14397595.2015.1060663.
20. Paroli M., Spadea L., Caccavale R., Spadea L., Paroli M.P., Nante N. The Role of Interleukin-17 in Juvenile Idiopathic Arthritis: From Pathogenesis to Treatment // *Medicina (Kaunas)*. 2022. Vol. 58 (11). P. 1552. DOI: 10.3390/medicina58111552.
21. De Kleer I.M., Wedderburn L.R., Taams L.S., et al. CD4 + CD25 bright Regulatory T Cells Actively Regulate Inflammation in the Joints of Patients with the Remitting Form of Juvenile Idiopathic Arthritis // *J Immunol*. 2004. Vol. 172. No. 10. P. 6435–6443. DOI: 10.4049/jimmunol.172.10.6435.
22. Ruprecht C.R., Gattorno M., Ferlito F., et al. Co-expression of CD25 and CD27 identifies FoxP3+ regulatory T cells in inflamed synovia // *J Exp Med*. 2005. Vol. 201. No. 11. P. 1793–1803. DOI: 10.1084/jem.20050085.
23. Gibson D.S., Finnegan S., Jordan G., et al. Stratification and monitoring of juvenile idiopathic arthritis patients by synovial proteome analysis // *J Proteome Res*. 2009. Vol. 8. No. 12. P. 5601–5609. DOI: 10.1021/pr900680w.
24. Shoop-Worrall S., Wu Q., Davies R., et al. Predicting disease outcomes in juvenile idiopathic arthritis: challenges, evidence, and new directions // *Lancet Child Adolesc Heal*. 2019. Vol. 3. No. 10. P. 725–733. DOI: 10.1016/S2352-4642(19)30188-9.
25. Moncrieffe H., Ursu S., Holzinger D., et al. A subgroup of juvenile idiopathic arthritis patients who respond well to methotrexate are identified by the serum biomarker MRP8/14 protein // *Rheumatol (United Kingdom)*. 2013. Vol. 52. No. 8. P. 1467–1476. DOI: 10.1093/rheumatology/ket152.
26. Glerup M., Herlin T., Twilt M. Remission rate is not dependent on the presence of antinuclear antibodies in juvenile idiopathic arthritis // *Clin Rheumatol*. 2017. Vol. 36. No. 3. P. 671–676. DOI: 10.1007/s10067-017-3540-x.
27. Cattalini M., Maduskuie V., Fawcett P., et al. Predicting duration of beneficial effect of joint injection among children with chronic arthritis by measuring biomarkers concentration in synovial fluid at the time of injection // *Clin Exp Rheumatol*. 2008. Vol. 26. No. 6. P. 1153–1160. PMID: 19210889.
28. Kahn R., Berthold E., Gullstrand B., et al. Circulating complexes between tumour necrosis factor-alpha and etanercept predict long-term efficacy of etanercept in juvenile idiopathic arthritis // *Acta Paediatr Int J Paediatr*. 2016. Vol. 105. No. 4. P. 427–432. DOI: 10.1111/apa.13319.
29. Anink J., Van Suijlekom-Smit L.W.A., Otten M.H. et al. MRP8/14 serum levels as a predictor of response to starting and stopping anti-TNF treatment in juvenile idiopathic arthritis // *Arthritis Res Ther*. 2015. Vol. 17. No. 1. P. 1–8. DOI: 10.1186/s13075-015-0723-1.
30. Marasco E., Aquilani A., Cascioli S., et al. Switched Memory B Cells Are Increased in Oligoarticular and Polyarticular Juvenile Idiopathic Arthritis and Their Change Over Time Is Related to Response to Tumor Necrosis Factor Inhibitors // *Arthritis Rheumatol*. 2018. Vol. 70. No. 4. P. 606–615. DOI: 10.1002/art.40410.
31. Mo X., Chen X., Jeong C., et al. Early Prediction of Clinical Response to Etanercept Treatment in Juvenile Idiopathic Arthritis Using Machine Learning // *Front Pharmacol*. 2020. Vol. 11. P. 1–9. DOI: 10.3389/fphar.2020.01164.
32. Pastore S., Stocco G., Favretto D., De Iudicibus S., Taddeo A., d'Adamo P., Malusà N., Addobbati R., Decorti G., Lepore L., Ventura A. Genetic determinants for methotrexate response in juvenile idiopathic arthritis // *Front Pharmacol*. 2015 Mar 23. № 6. P. 52. DOI: 10.3389/fphar.2015.00052.
33. Ahn J.G. Role of Biomarkers in Juvenile Idiopathic Arthritis // *J Rheum Dis*. 2020. Vol. 27. P. 233–240. DOI: 10.4078/jrd.2020.27.4.233.
34. Rothmund F., Gerss J., Ruperto N., et al. Validation of relapse risk biomarkers for routine use in patients with juvenile idiopathic arthritis // *Arthritis Care Res*. 2014. Vol. 66. No. 6. P. 949–955. DOI: 10.1002/acr.22248.

35. Leong J.Y., Chen P., Yeo J.G., et al. Immunome perturbation is present in patients with juvenile idiopathic arthritis who are in remission and will relapse upon anti-TNF $\alpha$  withdrawal // *Ann Rheum Dis*. 2019. Vol. 78. No. 12. P. 1712–1721. DOI: 10.1136/annrheumdis-2019-216059.
36. Brunelli J., Silva C., Pasoto S., et al. Anti-adalimumab antibodies kinetics: an early guide for juvenile idiopathic arthritis (JIA) switching // *Clin Rheumatol*. 2020. Vol. 39. No. 2. P. 515–521. DOI: 10.1007/s10067-019-04798-6.
37. Ruperto N., Lovell D.J., Cuttica R., et al. Long-term efficacy and safety of infliximab plus methotrexate for the treatment of polyarticular-course juvenile rheumatoid arthritis: findings from an open-label treatment extension // *Ann Rheum Dis*. 2010. Vol. 69. No. 4. P. 718–722. DOI: 10.1136/ard.2009.100354.
38. Skrabl-Baumgartner A., Seidel G., Langner-Wegscheider B., et al. Drug monitoring in long-term treatment with adalimumab for juvenile idiopathic arthritis-associated uveitis // *Arch Dis Child*. 2019. Vol. 104. No. 3. P. 246–250. DOI: 10.1136/archdischild-2018-315060.
39. Marino A., Real-Fernández F., Rovero P., et al. Anti-adalimumab antibodies in a cohort of patients with juvenile idiopathic arthritis: incidence and clinical correlations // *Clin Rheumatol*. 2018. Vol. 37. No. 5. P. 1407–1411. DOI: 10.1007/s10067-018-4057-7.
40. Jiang K., Frank M.B., Chen Y., et al. Genomic characterization of remission in juvenile idiopathic arthritis // *Arthritis Res Ther*. 2013. Vol. 15. No. 4. P. R100. DOI: 10.1186/ar4280.

## СТАТЬИ

УДК 546.05:546.264:661.183.3

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ УГЛЯ С КОМПЛЕКСНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ЦЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ****Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е.***Сатбаев Университет, Алматы, e-mail: nurdos@bk.ru*

Использование угля на ТЭЦ и малых котельных установках Казахстана для выработки тепла и электроэнергии сопровождается большим выходом золы, что заставляет искать новые решения и рациональные способы ее переработки. В условиях дефицита вырабатываемой электроэнергии и усиления экологической безопасности утилизация отходов золы ТЭЦ в Казахстане является стержневым государственным приоритетом. В настоящей работе на основании результатов ранее проведенных исследований осуществлены оценка и анализ возможности использования инновационной технологии для утилизации накопленных отходов золы ТЭЦ Казахстана. В результате проведенных опытов получен материал, содержащий 99,9%  $Al_2O_3$  с удельной поверхностью 8–10  $m^2/g$ , с размером кристаллов  $\mu=0,5-0,7$ . Содержание чистого оксида алюминия ( $\alpha-Al_2O_3$ ) в полученном материале – более 90%. Предлагаемая технология может стать альтернативой для производства глинозема и кремнезема в странах, где отсутствуют месторождения боксита, пригодного для производства глинозема способом Байера, и нет природных источников для производства чистого кремнезема. Также предлагаемая технология может использоваться для переработки золы, получаемой на малых котельных установках, работающих на угле и находящихся в черте крупных городов-мегаполисов. Развитие производства по переработке золы расширит ассортимент товарной продукции в традиционной энергетической отрасли и повысит ее экспортный потенциал.

**Ключевые слова:** зола, обжиг, хлорид кальция, выщелачивание, соляная кислота, металлы, формы нахождения, чистый кремнезем, чистый оксид алюминия

**MAIN PRINCIPLES OF BUILDING INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR PROCESSING ASH FROM COAL COMBUSTION WITH INTEGRATED EXTRACTION OF VALUABLE ELEMENTS****Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E.***Satbayev University, Almaty, e-mail: nurdos@bk.ru*

The use of coal at thermal power plants and small boiler plants in Kazakhstan to generate heat and electricity is accompanied by a large ash yield, which forces us to look for rational measures and new solutions for their processing. In conditions of a shortage of electricity generated and increased environmental safety, the disposal of waste ash from thermal power plants in Kazakhstan is a core state priority. In this paper, based on the results of previous studies, an assessment and analysis of the possibility of using innovative technology for the disposal of accumulated ash waste from the CHP of Kazakhstan has been carried out. As a result of the experiments, a material containing 99.9%  $Al_2O_3$  with a specific surface area of 8–10  $m^2/g$ , with a crystal size  $\mu = 0.5-0.7$ , was obtained. The content of pure aluminum oxide ( $\alpha-Al_2O_3$ ) in the resulting material is more than 90%. The proposed technology can become an alternative for the production of alumina and silica in countries where there are no deposits of bauxite suitable for the production of alumina by the Bayer method and there are no natural sources for the production of pure silica. Also, the application of the proposed technology can be used for the processing of ash obtained at small boiler plants operating on coal and located within the boundaries of large megacities. The development of ash processing production will expand the range of commercial products in the traditional energy industry and increase its export potential.

**Keywords:** ash, roasting, calcium chloride, leaching, hydrochloric acid, metals, forms of occurrence, pure silica, pure aluminum oxide

*Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2021–2023 годы по приоритетному направлению «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции» проекта № AP09259637 «Разработка высокоэффективной безотходной технологии для утилизации золы от сжигания угля с получением товарных продуктов».*

Использование угля на ТЭЦ и малых котельных установках Казахстана для выработки тепла и электроэнергии сопровождается большим выходом золы, что заставляет искать рациональные меры и новые решения по ее переработке.

Обращает на себя внимание, что технологии известных в научной литературе ра-

бот по переработке золы строятся исходя, в основном, из конъюнктуры мировой ценовой политики извлекаемых металлов. В работах [1, 2, 3] показаны пути извлечения редкоземельных металлов (РЗЭ). Большинство других известных работ посвящены описанию способов локального извлечения глинозема и иного, хотя накопленные золы

по объему и содержанию в них широкого спектра ценных металлов [4, 5, 6] вполне можно рассматривать как дополнительный источник сырья для их получения.

В условиях дефицита вырабатываемой электроэнергии и усиления экологической безопасности утилизация отходов золы ТЭЦ в Казахстане является стержневым государственным приоритетом. Огромные накопления золы [7, 8] ввиду отсутствия рациональной технологии их переработки не утилизируются, а продолжают расти с каждым годом. Развитие новых технологий сдерживается наличием больших капитальных затрат, высокой стоимостью транспортной доставки золы до места утилизации и др. Представляется перспективной разработка высокотехнологичных, эффективных инновационных технологий, направленных на комплексное извлечение ценных металлов и легко интегрируемых в существующие технологии ТЭЦ.

С технолого-экономической точки зрения важность решения данного вопроса обусловлена тем, что:

- в золах содержание алюминия и кремния часто превышает их содержание в разрабатываемых месторождениях;
- стоимость ценных сопутствующих металлов, которые могут быть получены из золоотходов, соизмерима, а порой и превосходит (например, в алюминиевом производстве получение галлия, ванадия) стоимость основной продукции предприятия;
- золы не требуют специальных затрат на добычу и транспортировку, составляющих наибольшую часть в структуре себестоимости конечной продукции;
- настоящее положение дел, в условиях истощения первичных запасов ряда ценных металлов, характеризуется значительными потерями ценных металлов, которые могли бы быть извлечены из золы, используемой в качестве дополнительного источника сырья.

В настоящей работе на основании результатов ранее проведенных исследований проведены оценка и анализ возможности использования инновационной технологии для утилизации накопленных отходов золы ТЭЦ Казахстана.

## Материалы и методы исследования

Объект исследования – пробы золы, полученные в результате сжигания Экибастузских углей на ТЭЦ-2 г. Алматы. Были отобраны и исследованы 28 представительных проб золы, что позволило уточнить результаты, представленные в ранее опубликованных работах [9]. Приведенные в работе усредненные составы химического и фазового анализа пробы золы позволят принять их за основу при организации процесса обжига и выщелачивания. Полученные результаты по формам нахождения металлов в золе имеют важное значение для подбора расхода реагентов, температуры и других технологических параметров, определяющих распределение металлов между продуктами и качество получаемых продуктов.

Для исследования вещественного и фазового состава золы в работе использованы: атомно-абсорбционной спектрофотометрии PerkinElmer 5100, оборудованной графитовой камерой сжигания; XcaliburXRFLtd, USA; рентгеновский дифрактометр Rigaku, UltimaIII diffractometer (Rigaku Corporation, USA).

Нахождение металлов в исследуемой пробе проведено с использованием электронной микроскопии образцов Leo-Supra (CarlZeissAG, Germany).

## Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований элементного состава усредненной пробы золы показаны в таблице 1.

Результаты фазового состава золы представлены на рисунке 1 и в таблице 2.

В таблице 3 приведен расчетный рациональный состав усредненной пробы золы.

Результаты сравнения элементного и фазового состава усредненной пробы золы с ранее опубликованными данными показывают незначительные их отклонения ( $\pm 0,05\%$  абс.) по основным металлам (Ca, Al, SiO<sub>2</sub>), что свидетельствует об отлаженном технологическом режиме сжигания угля, применяемом на ТЭЦ-2 г. Алматы.

Таблица 1

Элементный состав усредненной пробы золы

Исходная проба	Содержание, % масс.										
	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Прочие
Зола от сжигания Экибастузского угля	45,10	0,56	0,52	14,12	27,15	1,86	2,54	0,67	0,15	5,33	2,0

Таблица 2

Полуколичественный рентгенофазовый анализ золы

Название фазы	Формула	Концентрация, %
Муллит	$Al_{4,984}Si_{1,016}O_{9,508}$	21,79
Кварц	$SiO_2$	36,56
Гематит	$Fe_2O_3$	1,55
Анортит ПШ	$Ca(Al_2Si_2O_8)$	15,2
Microcline КПШ	$(K_{,95}Na_{,05})AlSi_3O_8$	18,8
Magnetite	$Fe_3O_4$	6,1

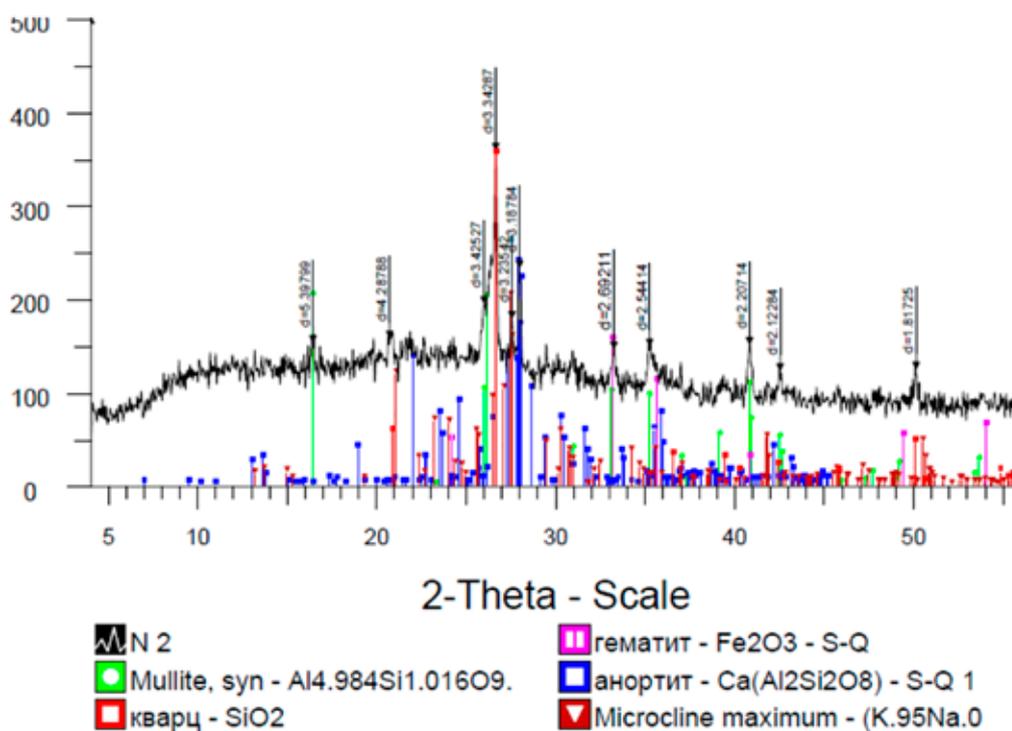


Рис.1. Штрих-диаграмма пробы золы

Таблица 3

Рациональный состав исходной золы

Наименование фаз	Содержание, % масс.							Итого:
	Al	Si	Fe	Ca	Na	K	O	
Муллит $Al_{4,984}Si_{1,016}O_{9,508}$	9,12	2,00					10,67	21,79
Кварц $SiO_2$		17,09					19,47	36,56
Гематит $Fe_2O_3$			1,08				0,47	1,55
Анортит ПШ $Ca(Al_2Si_2O_8)$	2,87	3,09		2,20			7,04	15,2
Microcline КПШ $(K_{,95}Na_{,05})AlSi_3O_8$	1,71	5,52			0,75	2,43	8,38	18,8
Magnetite $Fe_3O_4$			4,42				1,68	6,1
Всего:	13,70	27,70	5,50	2,20	0,75	2,43	47,71	100,00

Концепция разрабатываемой технологии включает извлечение чистого кремнезема и получение глинозема высокого качества. Ядром технологии являются взаимосвязанные между собой стадии обжига золы совместно с хлоридом кальция, выщелачивания огарка соляной кислотой, выделения кристаллогидрата хлористого алюминия ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) с дальнейшим термическим его разложением до получения аморфного оксида алюминия ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ). Детальное обсуждение теоретических основ и экспериментальных результатов каждой операции подробно изложено нами в работах [9, 10, 11]. Ниже, на основании дополнительно проведенных опытов по обжигу, рассмотрена возможность доведения полученного аморфного оксида алюминия до более высокого качества.

Аморфный оксид алюминия, пригодный для производства алюминия, подвергали обжигу до получения глинозема модификации –  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , который широко используется при производстве керамики. Обжиг проводили при температуре  $1200^\circ\text{C}$  в атмосфере инертного газа (Ar). Продолжительность опыта – 60 мин.

В результате проведенных опытов получен материал, содержащий 99,9%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с удельной поверхностью  $7\text{--}9 \text{ м}^2/\text{г}$ , с размером кристаллов  $\mu=50\text{--}700$ . Содержание чистого оксида алюминия ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) в полученном материале более 90%.

Элементный состав оксида алюминия приведен в таблице 4.

Для получения оксида алюминия особого сорта Tabular Alumina чистый оксид алюминия ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) подвергали высокотемпературному обжигу ( $1200^\circ\text{C}$ ) в течение 45 мин в атмосфере аргона.

Результаты микроструктурного анализа показали наличие кристаллов больших размеров ( $50\text{--}700 \text{ м}$ ) глинозема  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,

аналогичных по свойствам особому сорту Tabular Alumina, который используется в производстве важных и специальных сортов керамики.

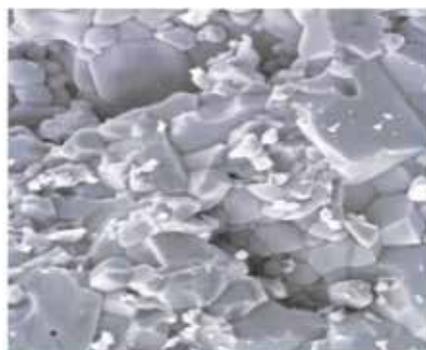
**Таблица 4**

Химический состав и свойства чистого оксида алюминия ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ )

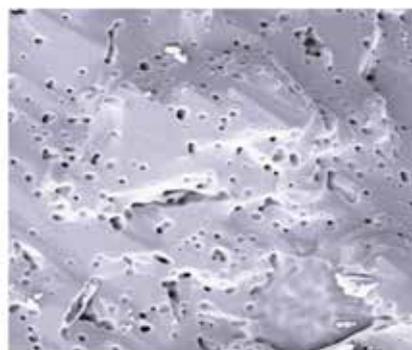
Компоненты и параметры	Единица измерения	Значение
$\text{Al}_2\text{O}_3$	%	99,9
$\text{SiO}_2$	%	0,15
$\text{CaO}$	%	0,02
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	%	0,01
$\text{Na}_2\text{O}$	%	0,04

На фотографии микроструктуры обычного и особо чистого сорта оксида алюминия (рис. 2) видно, что в микроструктуре Tabular Alumina практически нет открытой пористости, причем поверхность материала плотно закрытая и в нем нет мелких кристаллов (рис. 2В).

Основным преимуществом технологии является одновременное решение двух серьезных проблем. *Первая* – экологическая, связанная с сокращением отходов угольной золы, накопленные объемы которых существенно загрязняют окружающую среду за счет рассеивания ветром мелкой части золы крупностью менее  $20\text{--}40 \text{ м}$ . *Вторая проблема* – техническая, связанная с получением высококачественных продуктов: глинозема, не содержащего примеси натрия, что особенно важно при производстве качественной керамики, и чистого кремнезема для использования в качестве добавки при производстве так называемых зеленых, экологически чистых шин.



**А)**



**Б)**

Рис. 2. Фотографии микроструктуры обычного оксида алюминия (А) и сорта Tabular Alumina (Б).  $\times 500$

Предлагаемая к разработке технология может стать альтернативой для производства глинозема и кремнезема в странах, где отсутствуют месторождения боксита, пригодного для производства глинозема способом Байера, и нет природных источников для производства чистого кремнезема.

Особый интерес применение предлагаемой технологии может представлять для переработки золы, получаемой на малых котельных установках, работающих на угле и находящихся в черте крупных городов-мегаполисов.

### Выводы

1. Полученные результаты позволят научно обосновать методологические и технологические подходы по изучению и внедрению в производство новой безотходной хлорирующей технологии для утилизации золы с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью.

2. Результаты будут использованы в энергетической отрасли с целью вовлечения в переработку многокомпонентной золы в качестве дешевого, дополнительного источника сырья для получения новых видов товарной продукции.

3. Развитие производства по переработке золы расширит ассортимент товарной продукции в традиционной энергетической отрасли и повысит ее экспортный потенциал.

### Список литературы

1. Максимова А.М. Извлечение редких и редкоземельных металлов из техногенных объектов как путь к раци-

ональному освоению недр // *Науковедение*. 2016. № 8(5). С. 1-11.

2. Elliot Roth and other. Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products. 2017 World of Coal Ash Conference in Lexington, 2017, May 9-11.

3. Aakash Dwivedi, Manish Kumar Jain. Fly ash – waste management and overview: A Review // *Recent Research in Science and Technology*. 2014. № 6(1). P. 30-35.

4. Suhas V. Patil, Suryakant C. Nawle, Sunil J. Kulkarni. Industrial Applications of Fly ash: A Review, *International Journal of Science // Engineering and Technology Research (IJSETR)*. 2013. Vol. 2, Is. 9. P. 1659-1663.

5. Черкасова Т.Г., Черкасова Е.В., Тихомирова А.В., Бобровникова А.А., Неведров А.В., Папин А.В. Угольные отходы как сырье для получения редких и рассеянных элементов // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2016. № 6. С. 185-189.

6. Ахмедьянов А.У., Киргизбаева К.Ж., Туреханова Г.И. Вторичная переработка отходов (золошлаков) промышленных предприятий // *Технические науки. Горное дело*. 2018. № 10. С. 7-14.

7. Gupta S., Singh Pahwa M., Gupta A. Innovative Price Adjustments Technique for Thermal Coal: A Study of operation Function under Changing Techno Environment // *Global Journal of Management and Business Research Finance*. 2013. № 13 (4). P. 8-15.

8. Yao Z.T. and other. A comprehensive review on the applications of coal fly ash // *Earth-Science Reviews*. 2015. Vol. 141. P. 105-121.

9. Dosmukhamedov N., Kaplan V., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Alumina and Silica Produced by Chlorination of Power Plant Fly Ash Treatment // *JOM*. 2020. Vol. 72(10). P. 3348-3357.

10. Досмухамедов Н.К., Даруеш Г.С., Жолдасбай Е.Е. Особенности поведения компонентов золы в условиях хлорирующего обжига // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 2. С.91-98.

11. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Жолдасбай Е.Е., Даруеш Г.С., Аргын А.А. Выделение железа в железосодержащий продукт из золы от сжигания Экибастузских углей // *Уголь*. 2021. № 1. С.56-61.

УДК 627.215.2:502

## ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ БЕРЕГООКРЕПИТЕЛЬНЫХ И ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Цыганков Д.А.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)», Новосибирск, e-mail: [palsatan@outlook.com](mailto:palsatan@outlook.com)

Статья связана с экологической оценкой реконструкции речных берегоукрепительных сооружений, проводимой на территории природного памятника регионального значения. Оценка воздействия основных видов строительно-монтажных работ (СМР) на природу прилегающей территории проводилась отдельно в отношении воздушной, водной и земельной (почвенной) среды, а также растительного и животного мира. В результате проделанной работы было выяснено, что основное негативное воздействие связано с выбросами токсичных веществ в атмосферу и временным складированием производственных отходов на территории строительной площадки. Все выявленные загрязнители атмосферного воздуха относятся ко 2, 3 или 4 классу токсичности, а их образование связано с проведением земляных работ, планировкой территории, бетонированием и оснащением арматурой ростверков, а также перемещением производственных грузов. В качестве критерия соответствия качества воздуха нормативным требованиям были выбраны предельно допустимые концентрации (ПДК) токсичных веществ в окружающей среде. По результатам проведенных исследований выяснилось, что водная среда, земля, а также растительный и животный мир будут затронуты незначительно, с последующим самовосстановлением по окончании сроков проведения основных видов СМР. Приводится воздействие проводимых работ на социальную среду, выражающееся в создании дополнительной занятости для рабочих строительных специальностей, а также возможности расширения лесопарковой зоны на территории, примыкающей к укрепляемому берегу. Выплаты за загрязнение атмосферы осуществляются по двенадцати загрязнителям. Складирование производственных и хозяйственно-бытовых отходов на территории строительной площадки носит временный характер, оплачивается по существующим тарифам и предусматривает их последующее перемещение на специализированные полигоны. Общее воздействие процесса реконструкции берегоукрепительных гидротехнических сооружений на окружающую среду оценивается как допустимое.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, окружающая среда, токсичные вещества, экологическая оценка, отходы, концентрации, природоохранные платежи

## ENVIRONMENTAL PROTECTION DURING RECONSTRUCTION OF SHORE PROTECTION AND ANTI-SLIDE HYDRO ENGINEERING STRUCTURES

Tsygankov D.A.

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),  
Novosibirsk, e-mail: [palsatan@outlook.com](mailto:palsatan@outlook.com)*

The article is related to the environmental assessment of the process of reconstruction of riverbank protection structures, carried out on the territory of a natural monument of regional significance. The assessment of the impact of the main types of construction and installation works (CEW) on the nature of the adjacent territory was carried out separately in relation to the air, water, and land (soil) environment, as well as flora and fauna. As a result of the work done, it was found that the main negative impact is associated with emissions of toxic substances into the atmosphere and temporary storage of industrial waste on the territory of the construction site. All identified atmospheric air pollutants belong to the 2nd, 3rd or 4th toxicity class, and their formation is associated with earthworks, territory planning, concreting and equipping grillages with reinforcement, as well as the movement of industrial goods. Maximum allowable concentrations (MPC) of toxic substances in the environment were chosen as a criterion for the compliance of air quality with regulatory requirements. Based on the results of the studies, it turned out that the aquatic environment, lands, as well as flora and fauna will be slightly affected, with subsequent self-healing at the end of the main types of construction and installation work. The impact of the ongoing work on the social environment is given, which is expressed in the creation of additional employment for construction workers, as well as the possibility of expanding the forest park zone in the territory adjacent to the fortified coast. Payments for air pollution are made for twelve pollutants. The storage of industrial and household waste on the territory of the construction site is temporary, paid according to existing tariffs and provides for their subsequent transfer to specialized landfills. The overall impact of the process of reconstruction of bank-protecting hydraulic structures on the environment is assessed as acceptable.

**Keywords:** hydraulic structures, environment, toxic substances, environmental assessment, waste, concentrations, environmental payments

Представленные в работе результаты научных исследований являются следствием проведения оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) процесса реконструкции береговых инженерных сооружений,

обеспечивающих безопасность эксплуатации прибрежной территории.

В работе определялась степень воздействия выбросов, исходящих от строительной техники, используемой при выполнении

процессов реконструкции берегоукрепительных и противооползневых сооружений, на уровень загрязнения атмосферы, воздействие всего цикла работ на поверхностные и подземные водные источники, растительный и животный мир, почвенный покров, а также социальную среду.

Работы по реконструкции выполнялись на территории природного памятника, расположенного на склоне правого берега р. Оки. Крутизна склонов водоема достигает 50–60°, а местами приближается к отвесной. Все склоны реки прорезаны ветвящимися оврагами, изобилуют родниками и характеризуются оползневыми явлениями. В настоящее время техногенное воздействие на склоны реки сильно увеличилось в связи с проводимыми в непосредственной близости от них строительными работами по возведению жилых зданий.

Существующие в настоящее время берегоукрепительные сооружения недостаточно эффективны по причине возрастания количества мест концентраций водного стока, связанного с естественными геологическими процессами, а также с увеличением нагрузки на склон в условиях разрушенной системы дренажа и лотковых сооружений для отвода поверхностных вод. Сложившаяся ситуация требует проведения берегоукрепительных работ с учетом требований охраны окружающей среды [1].

Цель настоящего исследования заключалась в проверке соответствия уровня загрязнения окружающей природной среды, находящейся под воздействием токсичных веществ, поступающих от проведения СМР, требованиям действующих стандартов безопасности. При этом ОВОС проводимых работ осуществлялась в отношении основных природных сред – атмосферы, почвенного покрова (земель), поверхностных и подземных вод, а также растительного и животного мира. По результатам оценки давалось заключение о необходимости разработки и внедрения мероприятий по охране окружающей среды.

#### **Материалы и методы исследования**

ОВОС проведена на базе расчетов перспективного состояния ее основных элементов, а также изучения данных об объемах фактически проводимых СМР, включая оценку поступающих от них загрязнителей по стандартным методикам.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Рассматриваемые в работе гидротехнические сооружения являются основны-

ми постоянными конструкциями третьего класса [2]. Работы по их реконструкции проводятся последовательно-параллельным способом. Продолжительность проведения работ по восстановлению берегоукрепительных сооружений составит три месяца, а противооползневых – восемь.

Берегоукрепительные работы начнутся с расчистки и подготовки территории строительной площадки, а также демонтажа утилизируемых конструкций. Далее следует планирование верхнего слоя существующего контрбанкета, совмещенное с отсыпкой щебня фракции 80–120 мм слоем высотой 0,5 м автосамосвалами КамАЗ-5511, а также выколачивание поверхности бульдозерами Д-170 и ее последующее уплотнение специальной техникой. Укладка бетона при возведении железобетонного бруса производится в поперечном порядке при вертикальном размере одной секции 2 м. После выполнения этих работ проводится щебеночная подготовка, монтаж арматурных каркасов и щитов опалубки автомобильным краном КС-3577. Доставка бетона осуществляется автомобильным бетономесителем на базе автосамосвала КамАЗ-5320, а его последующее уплотнение – вибрационными уплотнителями бетона ИВ-7. Укладка бетона при возведении плит крепления площадки и откосной части берегоукрепительных сооружений производится отдельными плитами с перевязкой деформационных швов через одну. Доставляемый бетон перегружается в приемный бункер автомобильного бетононасоса СБ-170.

Работа по реконструкции противооползневых сооружений включает в себя обустройство съезда, планировку бермы, а также последующее возведение свайного двухрядного ростверка, водосборной системы, планирование и крепление откосов. Основные объемы земляных работ выполняются экскаваторами ЭО-3233. При разработке грунта каждый ярус делится на захватки, в которых выполняются следующие виды работ: разработка грунта экскаваторами ЭО-3233 и его перемещение пневмоколесными погрузчиками ТО-18; планировка откосов экскаваторами ЕС 22-К2; планировка бермы бульдозерами Е-170 с последующей укладкой биологических матов. После завершения работ по созданию бермы начинается возведение монолитного двухрядного свайного ростверка.

Работы по бурению скважин под набивные сваи осуществляются специальной установкой SANY SR150С. Монтаж арматурных каркасов осуществляется

лебедкой буровой установки, а сварка – ручными электрическими аппаратами. Бетонирование свай производится после выполнения работ по монтажу арматурного каркаса. Далее следует отсыпка песчано-гравийной смеси слоем толщиной 0,5 м с целью организации проезда строительной техники. Параллельно с бурением скважин и забивкой в них свай ведется строительство ливневого коллектора естественного стока.

Бетонирование монолитного ростверка начинается с очистки и уплотнения его основания, отрывки котлована экскаватором JCB-3CX, а также удаления защитных оголовков набивных свай молотками МОП-2. После этого производится установка опалубки и арматурных каркасов с последующей укладкой в них бетона.

После завершения планирования бермы и свайного ростверка проводятся работы по укреплению откосов металлической решеткой, а также установке биологических матов. По завершении СМР производится вывоз с территории строительной площадки техники, мусора, разборка временных зданий и сооружений, а также демонтаж ограждений и ее благоустройство.

С целью определения объемов выбросов токсичных веществ установлены потребности строительства во всех машинах, механизмах и других средствах загрязнения атмосферы для берегоукрепительных (табл. 1) и противооползневых (табл. 2) работ.

**Таблица 1**

Потребность в строительных машинах, механизмах и других средствах на период берегоукрепительных работ

№	Наименование	Количество
1	Бульдозер ДТ-170	2
2	Экскаватор Caterpillar DL-312	1
3	Автосамосвал КамАЗ-5511	6
4	Автобетоносмеситель на шасси КамАЗ	2
5	Автобетононасос СБ-170	1
6	Автомобильный кран КС-3577	1
7	Бортовой КамАЗ-5320	1
8	Уплотнитель бетона ИВ-7	2
9	Компрессор ЗИФ ПВ-8/0,7	3
10	Отбойный молоток МОП-2	3
11	Вибрационная плита Меран CNR-310А	1

**Таблица 2**

Потребность в строительных машинах, механизмах и других средствах на период строительства противооползневых сооружений

№	Наименование	Количество
1	Буровая установка BAUER MBG-12	1
2	Бульдозер Д-170	2
3	Экскаватор-планировщик ЕС 22-К2	2
4	Гусеничный экскаватор ЭО-3223	2
5	Погрузчик пневмоколесный Т-18	2
6	Экскаватор-погрузчик JCB-3CX	1
7	Автосамосвал КамАЗ-65115	8
8	Асфальтовый каток Дупарас-СС900S	1
9	Грунтовый каток JCB VM-46D	1
10	Бортовой грузовик КамАЗ-43118	1
11	Автобетононасос СБ-170	1
12	Автобетоносмеситель на базе КамАЗ-5511	2
13	Уплотнитель бетона ИВ-7	2
14	Сварочный аппарат СТН-500	1
15	Компрессор ЗИФ ПВ-8/0,7	1

Определение объемов выбросов загрязнителей в воздушную среду от приведенных в табл. 1 и 2 источников проводилось с учетом одновременности их работы, а также времени проведения каждого конкретного вида СМР по действующим методикам [3, 4]. В процессе реконструкции береговых гидротехнических сооружений в атмосферу будут поступать девять токсичных веществ 2, 3 и 4 классов опасности (табл. 3).

Оценка уровня загрязнения атмосферы выбросами загрязняющих веществ проводилась путем расчета их приземных концентраций и сравнения полученных значений с ПДК [5, 6]. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Воздействие СМР на поверхностные и подземные водные источники исключается, поскольку водозабор и сброс сточных вод в природные водные объекты отсутствуют. Основными источниками потребления чистой воды на строительной площадке являются строительные машины, механизмы и проводимые при их участии технологические процессы. Для их обслуживания используется техническая вода из трубопровода.

Таблица 3

Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в воздушную среду

№	Наименование	Критерий оценки	Значение критерия оценки	Класс опасности	Суммарный выброс	
					г/с	т/г
1	Железа оксид (диоксид)	ПДКсс	0,04000	3	0,006000	0,002000
2	Марганец и соединения	ПДКмр	0,01000	2	0,002000	0,000600
3	Азота диоксид	ПДК	0,20000	3	0,120500	0,100000
4	Азота оксид	ПДК	0,40000	3	0,053200	0,014000
5	Углерод (сажа)	ПДК	0,15000	3	0,021600	0,015110
6	Серы диоксид	ПДК	0,50000	3	0,013300	0,014020
7	Углерода оксид	ПДК	5,00000	4	0,166200	0,132400
8	Фториды газообразные	ПДК	0,02000	2	0,001100	0,000400
9	Фториды нерастворимые	ПДК	0,20000	2	0,001600	0,000500
10	Керосин	ОБУВ	1,20000	3	0,038000	0,037100
11	Углеводороды предельные	ПДК	1,00000	4	0,146500	0,019000
12	Пыль неорганическая	ПДК	0,30000	3	0,056100	0,066400
Всего веществ		12			0,6261	0,040333
В том числе твердых		5			0,0873	0,084610
В том числе жидких и газообразных		7			0,5388	0,318720

Примечание. ПДКсс – предельно допустимая концентрация среднесуточная; ПДКмр – предельно допустимая концентрация максимальная разовая; ОБУВ – ориентировочный безопасный уровень воздействия.

Таблица 4

Концентрации основных загрязняющих воздух веществ в контрольных точках

№	Наименование	Концентрация, доли ПДК
1	Железа оксид (диоксид)	0,000718
2	Марганец и соединения	0,009570
3	Азота диоксид	0,760000
4	Азота оксид	0,006370
5	Углерод (сажа)	0,006890
6	Серы диоксид	0,002880
7	Углерода оксид	0,580000
8	Фториды газообразные	0,002630
9	Фториды нерастворимые	0,000384
10	Керосин	0,001520
11	Углеводороды предельные	0,007010
12	Пыль неорганическая	0,004790

Обеспечение работников питьевой водой осуществляется с помощью привозной бутилированной воды в емкостях по 20 л. Хозяйственно-бытовое водоотведение осуществляется посредством биотуалетов, а производственное отсутствует, поскольку представляет собой безвозвратные потери.

Основным фактором воздействия на почву при проведении рекультивации нарушенных земель является ее загрязнение автотранспортом, перевозящим грунт. Это

связано с выбросами токсичных веществ, поступающих с выхлопными газами и их последующим оседанием на почве.

Главными последствиями воздействия проводимых СМР на объекты животного мира являются сокращение и трансформация мест их обитания. Транспортные и другие шумы являются факторами беспокойства животных, обитающих в окрестностях реконструкции гидротехнических сооружений.

Таблица 5

Нормативы платы и платежи за выбросы токсичных веществ

№	Наименование	Норматив платы, руб./т	Количество, т	Платежи, руб.
1	Железа оксид (диоксид)	1369,70	0,002000	2,73
2	Марганец и соединения	5473,50	0,000600	3,28
3	Азота диоксид	93,50	0,014000	1,31
4	Азота оксид	138,80	0,100000	13,88
5	Углерод (сажа)	84,00	0,015110	1,27
6	Серы диоксид	45,40	0,014020	0,64
7	Углерода оксид	1,60	0,132400	0,21
8	Фториды газообразные	547,40	0,000400	0,21
9	Фториды нерастворимые	181,60	0,000500	0,09
10	Керосин	6,70	0,037100	0,25
11	Углеводороды предельные	10,80	0,019000	0,20
12	Пыль неорганическая	56,10	0,066400	3,73
Всего				27,80

Таблица 6

Нормативы платы и платежи за размещение токсичных отходов в окружающей среде

№	Наименование	Норматив платы, руб./т	Количество, т	Платежи, руб.
1	Отходы строительных материалов	17,30	15,000	259,50
2	Тара из черных металлов	663,20	0,035	23,21
3	Бытовой мусор	663,20	1,410	935,11
4	Отходы сварочных электродов	17,30	0,012	0,21
5	Обтирочный материал	17,30	0,050	0,86
6	Резиновые изделия	17,30	0,055	0,95
7	Спецодежда из натуральных тканей	17,30	0,077	1,33
8	Грунт от землеройных работ	17,30	124,000	2145,2
Всего, т		140,64		
Всего, руб.		3366,37		

Расчет выплат за загрязнение атмосферного воздуха произведен согласно [7] и представлен в табл. 5.

Расчет выплат за размещение токсичных отходов в окружающей среде произведен согласно [8] и представлен в табл. 6.

#### Выводы

1. Загрязнение, создаваемое выбросами токсичных веществ во время выполнения основных видов СМР, не будет превышать нормативную величину.

2. Укрепление берега и создание противооползневых сооружений не окажет сверхнормативного воздействия на поверхностные и подземные воды, поскольку их

потребление не осуществляется, а сброс сточных вод в них отсутствует.

3. Воздействие токсичных производственных отходов на окружающую среду будет осуществляться на территории специализированных предприятий, а их перемещение туда с территории строительства будет производиться на основе хозяйственного договора.

#### Список литературы

1. Постановление Правительства Нижегородской области от 15.10.2017 № 716 «Об утверждении паспортов на памятники природы регионального значения Малиновая гряда и Урочище Слуда» [Электронный ресурс]. URL: <https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/5200201710100001> (дата обращения: 05.04.2023).

2. Постановление Правительства РФ от 02.11.2014 № 986 «О классификации гидротехнических сооружений» [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102168887&intelsearch> (дата обращения: 05.04.2023).

3. ГОСТ Р 56163–2019 «Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу стационарными дизельными установками». Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17.09.2019 № 639-ст. [Электронный ресурс]. URL: <http://gost.gtsever.ru/Data/718/71898.pdf> (дата обращения: 05.04.2023).

4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708110012> (дата обращения: 05.04.2023).

5. ГН 2.1.6.3492–17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений». Утверждены по-

становлением Главного санитарного врача РФ от 22.12.2017 № 165 [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201801090023> (дата обращения: 05.04.2023).

6. ГН 2.1.6.2309-07 «Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест». Утверждены постановлением Главного санитарного врача РФ от 19.12.2007 № 92 [Электронный ресурс]. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/cc2/4294815331.pdf> (дата обращения: 02.04.2023).

7. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71489914/> (дата обращения: 05.04.2023).

8. Постановление Правительства РФ от 28.08.1992 № 632 «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов и другие вредные воздействия» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/10102370/> (дата обращения: 05.04.2023).

## СТАТЬЯ

УДК 537.6:537.811

## ПРИРОДА СИЛЫ ЛОРЕНЦА

Карякин А.В., Карякина И.В.

*Георгиевский региональный колледж «Интеграл», Георгиевск, e-mail: kavov545@mail.ru*

Рассмотрено правило проявления силы Лоренца на заряженные частицы и установлено отсутствие описания физических принципов действия силы. Направление силы Лоренца установлено экспериментальным путем и зависит от скорости движения частицы, величины индукции магнитного поля и угла между ними. Рассмотрены парные заряженные частицы: электрон и позитрон, имеющие одинаковую массу, но противоположные заряды. Определено поле электрона и позитрона имеют собственное магнитное поле. Предположена форма магнитного поля заряженной частицы и внешнего постоянного магнитного поля. Рассмотрено взаимодействие собственного магнитного поля частицы и внешнего поля. Направление магнитного момента заряженной частицы становится определенно упорядоченным. Направление магнитного момента электрона и позитрона совпадает. Допущено, что механический момент электрона и позитрона имеют разное направление вращения магнитного и механического момента электрона совпадают. Направления магнитного и механического момента позитрона противоположны. Предложена гипотеза кинетического взаимодействия заряженных частиц с магнитным полем. Рассмотрена кинетическая энергия поступательного движения частицы и кинетическая энергия вращения вокруг собственной оси. Установлена зависимость направления силы Лоренца от направления собственного механического момента заряженной частицы.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, магнитное поле, силовые линии, электромагнетизм, электрон, позитрон, сила Лоренца, магнитный момент, механический момент, заряженная частица, кинетическая энергия

## THE NATURE OF THE LORENTZ FORCE

Karyakin A.V., Karyakina I.V.

*College "Integral", Georgievsk, e-mail: kavov545@mail.ru*

The rule of manifestation of the Lorentz force on charged particles is considered and the absence of a description of the physical principles of the force is established. The direction of the Lorentz force is determined experimentally and depends on the velocity of the particle, the magnitude of the magnetic field induction and the angle between them. Paired charged particles are considered: an electron and a positron having the same mass, but opposite charges. Definitely an electron and a positron have their own magnetic field. The shape of the magnetic field of a charged particle and an external permanent magnetic field is assumed. The interaction of the particle's own magnetic field and the external field is considered. The direction of the magnetic moment of the charged particle becomes definitely ordered. The direction of the magnetic moment of the electron and positron coincides. It is assumed that the mechanical moment of the electron and positron is different. The direction of rotation of the magnetic and mechanical moment of the electron coincide. The directions of the magnetic and mechanical moment of the positron are opposite. A hypothesis of kinetic interaction of charged particles with a magnetic field is proposed. The kinetic energy of the translational motion of the particle and the kinetic energy of rotation around its own axis are considered. The dependence of the direction of the Lorentz force on the direction of the intrinsic mechanical moment of the charged particle is established.

**Keywords:** electromagnetic field, magnetic field, lines of force, electromagnetism, electron, positron, Lorentz force, magnetic moment, mechanical moment, charged particle, kinetic energy

Сила Лоренца описывается и упоминается в любом учебнике физики. Классическая формулировка: сила Лоренца – сила, действующая на одну движущуюся заряженную частицу. Модуль силы Лоренца равен произведению заряда частицы, ее скорости, индукции магнитного поля и синуса угла между ними [1].

$$F = q v B \sin \alpha, [1]$$

где  $q$  – абсолютное значение движущегося заряда,

$v$  – скорость движения заряда,

$B$  – модуль вектора магнитной индукции

Исходя из формулы, можно сделать вывод о том, что сила Лоренца является максимальной в случае перпендикулярности движения частиц и линий магнитного поля

$\alpha = 90^\circ$  и может исчезать при их параллельности  $\alpha = 0^\circ$ . Сила Лоренца на частицу, движущуюся со скоростью параллельно вектору  $B$ , не действует [2].

Хендрик Лоренц в 1895 г., основываясь на опытах, вывел формулу, которая используется и поныне и носит его имя, как и та сила, что действует на летящую частицу в магнитном поле.

Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки: «Персты левой руки направляются по скорости, магнитные линии должны входить в ладонь, а отогнутый на  $90^\circ$  большой палец покажет направление силы Лоренца в случае движения положительно заряженной частицы» [3]. Формулировка звучит как некое магическое заклинание.

Какова природа боковой силы на движущуюся прямолинейно частицу, если линии магнитного поля расположены вертикально, а смещение происходит горизонтально? В опытах с катодными лучами электроны движутся в вакууме, и поэтому отклонение их магнитным полем является прямым и легко наблюдаемым результатом действия сил Лоренца [4]. Установлено, что чем быстрее скорость частицы в магнитном поле, тем сильнее проявляется центростремительная сила. Основываясь на экспериментальных данных, установили величину бокового смещения заряженных частиц, тем не менее механизм, определяющий боковое смещение, остается нераскрытым. Без выяснения и объяснения причин, порождающих силу Лоренца, эту силу можно смело отнести к классу прикладной магии.

Известно, что к заряженным элементарным частицам относятся частицы, имеющие электрический заряд. Под заряженной частицей понимаем электрон [5]. Известно, что электрон имеет величину заряда равную  $-1,6 \times 10^{-19}$  Кл, массу  $9,1 \times 10^{-31}$  кг и магнитный момент  $9,2 \times 10^{-24}$  Дж/Т. Позитрон при массе, равной электрону, имеет противоположную положительную величину заряда, одинаковую массу и магнитный момент. Определенно, электрон и позитрон отличаются только зарядом. При одинаковых физических параметрах электрона и позитрона сила Лоренца воздействует на них противоположно. Взаимодействием частицы с гравитационным полем можно пренебречь из-за малой массы частицы [6]. Необходимо рассмотреть электрон и позитрон и попытаться выделить свойства, определяющие направление силы Лоренца. Направление отклонения движения заряженной частицы в магнитном поле определяется свойствами частицы: магнитным и механическим моментами.

Цель исследования – рассмотреть кинетические свойства частиц, определяющих различное отклонение электрона и позитрона в магнитном поле.

В исследовании рассматривается равномерное магнитное поле. Равномерное магнитное поле наиболее часто визуализируется с помощью параллельных силовых магнитных линий. Представление магнитного поля в виде силовых линий является упрощенным вариантом винтового движения магнитных частиц [7]. В исследовании рассматривается более сложная форма силовых линий (рис. 1). Принимаем, что силовые линии внешнего магнитного поля имеют сотовую структуру, спиралевидную форму и занимают объем равномерно.

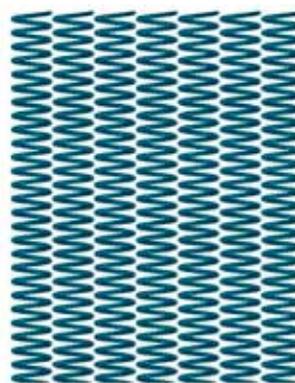


Рис. 1. Пространство магнитного поля

Подобное представление магнитного поля позволяет шире рассматривать магнитные взаимодействия на основе кинетических свойств магнитных частиц. Соответственно, для любой заряженной частицы внешнее магнитное поле представляет собой упорядоченную среду из движущихся в потоках магнитных частиц, обладающих определенной кинетической энергией. С увеличением индукции внешнего магнитного поля возрастает кинетическая энергия магнитных потоков.

С другой стороны, магнитное поле электрона, как шароподобного объекта, имеет сферическую форму силовых линий (рис. 2). Отклонение траектории электрона в магнитном поле позволяет сделать вывод о существовании собственного магнитного поля электрона.

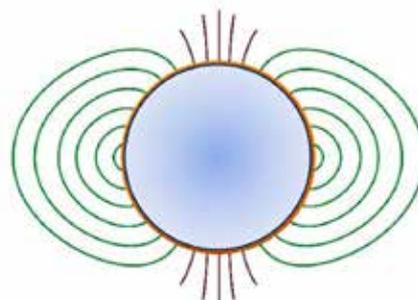


Рис. 2. Классическая форма двухполюсного магнитного поля

Выходящие силовые линии из полюсов охватывают все близлежащее пространство вокруг электрона либо позитрона. Отмечаем, что наиболее важными силовыми линиями являются центральные магнитные линии. Центральные линии не замкнуты и имеют максимальную плотность на полюсах. Данный вывод основывается на рассмотрении гигантских магнитных объектов – магнитных квазаров, имеющих ярко выраженные джеты – центральные магнит-

ные линии, расходящиеся от магнитных полюсов. Боковые линии сферических полей по отношению к центральным линиям являются замкнутыми, более слабыми и, соответственно, второстепенными, поэтому ими можно пренебречь в исследовании.

Для графического изображения магнитного поля целесообразно использовать упрощенную модель, без изображения боковых линий. На рис. 3 изображена упрощенная модель с единственной исходящей спиралевидной магнитной линией из магнитных полюсов, отражающая основной принцип движения магнитных частиц.

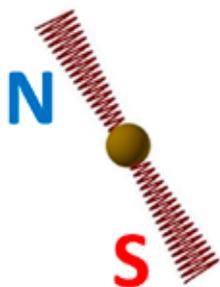


Рис. 3. Упрощенная модель магнитного поля электрона

Вначале рассмотрим магнитное взаимодействие частицы с внешним магнитным полем. Заряженные частицы, влетающие в магнитное поле, могут изначально иметь любую ориентацию собственного магнитного момента ввиду отсутствия каких-либо внешних магнитных сил. При движении в магнитном поле направление магнитного поля частицы становится ориентированным вдоль силовых линий или, точнее, кинетических потоков магнитных частиц. Исходящие винтовые линии магнитного поля электрона интегрируются с внешними потоками магнитных частиц (рис. 4).

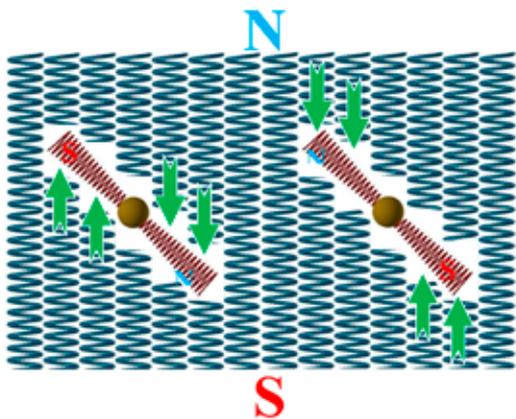


Рис. 4. Моменты сил в зависимости от направления магнитных полюсов

Более мощное внешнее магнитное поле всегда подчиняет более слабое поле элементарных частиц. Любые магнитные частицы переориентируются в постоянное магнитное поле. Под влиянием внешнего воздействия магнитный момент частицы становится упорядоченным и принимает единственно возможное направление (рис. 5).

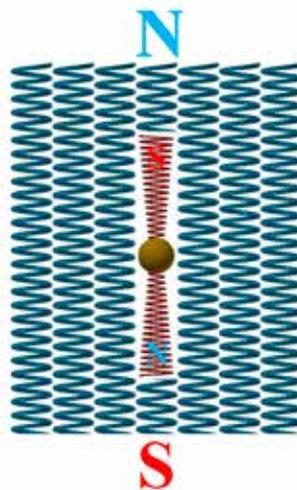


Рис. 5. Уравновешенное положение объекта во внешнем поле

При совпадении направления вращения исходящего потока и потока внешнего поля происходит слияние вращающихся потоков, таким образом, поле заряженной частицы становится частью большего поля. В таком положении кинетическая энергия потока не уменьшается. Направление уже упорядоченного магнитного момента частицы не изменяется при прямолинейном или криволинейном движении. Остальные варианты направления магнитного поля электрона являются невозможными, электрон, подобно магнитной стрелке компаса, всегда разворачивается вдоль силовых линий более мощного внешнего магнитного поля.

Промежуточный вывод исследования заключается в том, что заряженная частица во внешнем поле становится упорядоченной и имеет единственно возможную направленность магнитного поля. Сила, разворачивающая магнитную стрелку и заряженную частицу, является кинетической. Определенно, магнитное поле электрона и позитрона будет одинаково ориентировано.

Рассмотрим проявление силы Лоренца на упорядоченную движущуюся частицу и два возможных направления отклонения (рис. 6).

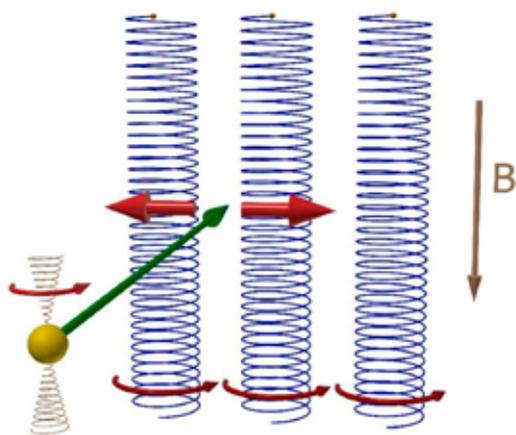


Рис. 6. Два возможных направления силы Лоренца на заряженную частицу

Установлено, что магнитный момент электрона и позитрона ориентирован в постоянном магнитном поле одинаково. Известно, что сила Лоренца будет для них разнонаправлена. По правилу левой руки – электрон всегда отклоняется вправо, позитрон отклоняется влево.

Как известно, у рассматриваемых элементарных частиц имеется собственный механический момент. Собственный момент импульса электрона называется спином. Направление магнитного момента и спина электрона совпадают [8]. Античастица – позитрон будет иметь разнонаправленное направление механического и магнитного момента.

Разница между электроном и позитроном, кроме заряда, заключается только в противоположном направлении механического момента. Ось вращения частицы всегда совпадает с направлением вектора  $B$ . Соответственно, плоскость вращения частицы всегда будет перпендикулярна направлению внешних магнитных потоков.

Представим частицу в виде колеса, тогда поверхность крутящегося колеса будет испытывать соприкосновение с перпендикулярными магнитными потоками и отклоняться в сторону. При вращении по часовой стрелке смещение происходит влево, при вращении против часовой стрелки смещение происходит вправо.

Простые кинетические свойства собственного механического момента определяют кинетическое взаимодействие с магнитными потоками магнитных частиц. Кинетическая энергия частицы складывается из двух частей: поступательного движения и вращения вокруг своей оси. Кинетическая энергия отдельных магнитных потоков магнитного поля значительно уступает кинетической энергии частицы.

Поэтому влетающая частица не отскакивает упруго от магнитных потоков, а постепенно уменьшается, что вызывает постепенное изменение траектории движения частицы и ее боковое отклонение.

Камера Вильсона наглядно демонстрирует закручивающиеся треки частиц. Форма треков позволяет судить о плавном уменьшении кинетической энергии до нуля. Энергия поступательного движения частицы постепенно расходуется на преодоление магнитной среды. Кинетические свойства магнитной среды выражены через величину индукции магнитного поля. Чем выше индукция магнитного поля, тем выше кинетическое взаимодействие. Определено кинетическое взаимодействие зависит от угла соприкосновения. Если угол движения частицы с внешними потоками будет близким к  $0$ , то взаимодействие будет минимальным, кинетические соударения будут минимальны.

В то же время при движении кинетическая энергия вращения частицы вокруг собственной оси не изменяется, что подтверждается кольцевым движением частицы в магнитной ловушке.

### Заключение

В исследовании рассматривается форма магнитного поля в виде винтовых магнитных потоков. Равномерное постоянное магнитное поле состоит из параллельных вертикальных потоков. Рассмотрена сферическая форма магнитного поля заряженной частицы. Сделано допущение, что боковые линии второстепенны. Основными силовыми линиями частицы являются центральные магнитные линии. Свободная магнитная частица может иметь любое направление магнитного момента. Рассмотрены свойства заряженных частиц: электрона и позитрона. Во внешнем магнитном поле направление магнитного момента и электрона и позитрона противоположно вектору внешнего поля. Сделан вывод, что энергия поступательного движения частицы уменьшается за счет преодоления магнитных потоков и определяется кинетическим взаимодействием. Рассмотрен механический и магнитный момент электрона и позитрона. Если у электрона направление магнитного и механического момента совпадают, то у позитрона направление моментов противоположно. Сила Лоренца определяется направлением вращения механического момента частицы, строго ориентированной во внешнем магнитном поле. За счет ориентированного механического момента электрон отклоняется вправо, соответственно, позитрон, с противоположно направленным механическим

моментом, всегда отклоняется влево. В результате исследования делается логический вывод, что сила Лоренца определяется только кинетическим взаимодействием.

Гипотеза имеет научную новизну и имеет теоретическое обоснование. Гипотеза истинна.

### Список литературы

1. Плетнев С.В. Магнитное поле, свойства, применение: научное и учебно-методическое справочное пособие. СПб.: Гуманистика, 2004. 624 с.

2. Зубович С.О. Курс лекций. Физика. Часть IV. Магнетизм: учебное пособие. Волгоград: ВолгГТУ, 2015. 90 с.

3. Физика: дойти до самой сути! Настольная книга для углубленного изучения физики в средней школе. Элек-

тромагнетизм: учебное пособие / Науч. ред. Н.С. Алексеева. М.: ЛЕНАНД, 2017. 240 с.

4. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. Электричество и магнетизм. Том 2. М.: ФИЗМАЛИТ, 2019. 488 с.

5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: учебник для бакалавров. М.: Юрайт, 2016. 317 с.

6. Полицинский Е.В. Лекции по физике. Часть 1. Учебное пособие. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. 324 с.

7. Карякин А.А., Карякин А.В., Карякина И.В. Кинетическая природа магнитных линий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 10. С. 100–105.

8. Дельцов В.П., Дельцов В.В., Физика: дойти до самой сути! Настольная книга для углубленного изучения физики в средней школе. Электромагнетизм: учебное пособие / Науч. ред. Н.С. Алексеева. М.: ЛЕНАНД, 2017. 240 с.

## СТАТЬЯ

УДК 544.478.02

**СИНТЕЗ НАНЕСЕННЫХ НА УГЛЕРОДНЫЙ НОСИТЕЛЬ  
СЕРЕБРЯНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ  
И ИЗУЧЕНИЕ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ****Камбарова Г.Б.***Институт химии и фитотехнологий Национальной академии наук Республики Кыргызстан,  
Бишкек, e-mail: gulnara\_kambarova@mail.ru*

Синтезированы серебряные катализаторы на углеродных носителях. В качестве углеродных носителей использовали уголь месторождения Мин-Куш (НУ) и окисленный образец угля (МУ). Модификацию угля азотной кислотой проводили для увеличения на его поверхности кислородсодержащих функциональных групп, являющихся центрами ионной адсорбции. После кислотной модификации в макромолекуле угля уменьшается степень ароматичности, увеличиваются кислородсодержащие фрагменты. Изучены физико-химические свойства катализаторов. Изучение физико-химических свойств показывает наличие микро- и мезопор в структуре углеродных носителей и катализаторов. Имеет место увеличение удельной поверхности углеродного носителя, обработанного кислотой (МУ), а также нанесенного на этот носитель серебряного катализатора (МУ-Ag). Результаты ИК-спектроскопии показывают наличие полос поглощения в серебряных катализаторах, свидетельствующих об ионизации функциональных групп и замене  $H^+$  на  $M^+$ . Положение характеристических полос для связи М-С зависит от природы углеродного носителя. Методом СЭМ установлено, что образец нативного угля имеет плотную поверхностную структуру, при этом морфология материала не изменяется. При химической активации угля азотной кислотой получен углеродный носитель с характерной пористой структурой, рыхлой морфологией поверхности и текстуры. Текстура поверхности серебряных катализаторов состоит из плотно сросшихся глобул, между которыми просматриваются пустоты, образующие бугристую текстуру поверхности. Серебро на поверхности катализаторов имеет кристаллическую структуру.

**Ключевые слова:** ионная адсорбция, катализатор, окисление, поверхность, углеродный носитель**SYNTHESIS OF SILVER CATALYSTS APPLIED  
TO THE CARBON CARRIER AND STUDY  
OF THEIR PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES****Kambarova G.B.***Institute of Chemistry and Phytotechnologies of the National Academy of Sciences  
of the Kyrgyz Republic, Bishkek, email: gulnara\_kambarova@mail.ru*

Silver catalysts on carbon carriers were synthesized. Coal from the Min Kush deposit (NU) and an oxidized sample of coal (MU) were used as carbon carriers. Modification of coal with nitric acid was carried out to increase oxygen-containing functional groups on its surface, which are the centers of ion adsorption. After acid modification in the macromolecule of coal, the degree of aromaticity decreases, oxygen-containing fragments increase. The physicochemical properties of catalysts have been studied. The study of physicochemical properties shows the presence of micro- and mesopores in the structure of carbon carriers and catalysts. There is an increase in the specific surface of the carbon carrier treated with acid (MU), as well as the silver catalyst (MU-Ag) applied to this carrier. The results of IR spectroscopy show the presence of absorption bands in silver catalysts, indicating the ionization of functional groups and the replacement of  $H^+$  with  $M^+$ . The position of the characteristic bands for M-C bond depends on the nature of the carbon carrier. The SEM method established that the sample of native coal has a dense surface structure, while the morphology of the material does not change. With the chemical activation of coal with nitric acid, a carbon carrier with a characteristic porous structure, loose surface morphology and texture was obtained. The surface texture of silver catalysts consists of densely fused globules, between which voids are visible, forming a bumpy surface texture. Silver on the surface of catalysts has a crystalline structure.

**Keywords:** ion adsorption, catalyst, oxidation, surface, carbon carrier

В последние годы внимание исследователей привлекают серебряные катализаторы, которые в сравнении с металлами платиновой группы значительно дешевле. Серебро, обладая уникальными химическими свойствами, является эффективным катализатором в реакциях гидрогенизации [1, 2]. Серебро используют в качестве катализатора во многих химических реакциях, например в производстве формальдегида и этиленоксида [3].

Целью исследования является создание серебряных катализаторов, нанесенных на углеродные носители, и изучение их физико-химических свойств.

**Материалы и методы исследования**

В работе в качестве носителей катализаторов использовали: бурый уголь (месторождение Мин-Куш КР) в нативной форме, а также уголь, модифицированный окислением азотной кислотой. Окисленный обра-

зец угля получали обработкой 5% азотной кислотой при 80 °С в течение 2 ч, промывали деионизированной водой до pH 5–6 и сушили при температуре 110 °С. Катализаторы готовили методом ионной адсорбции [4].

Основные физико-химические характеристики полученных катализаторов были определены традиционными методами [5]. Количество и природа функциональных групп на поверхности образцов были определены методом кислотно-основного титрования [6]. ИК-спектроскопический метод анализа выполнен на ИК-спектрометре «Nicolet Avatar 370 GDTS» в диапазоне 4000–400 см<sup>-1</sup>. ИК-спектры регистрировали в виде таблетки с калия бромидом.

Количественное определение серебра выполнено на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICP-AES Agilent 5110 после четырехкратного кислотного разложения.

Исследование структуры носителей и катализаторов проводили методом сканирующей электронной микроскопии на приборе TESCAN Vega 3 LMN, оборудованным энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором Oxford X-ACT с программным обеспечением Oxford AZtec Energy. Качественный и количественный энергодисперсионный химический анализ проводился в режимах сканирования Point-ID (точечное сканирование). Для более точного количественного анализа выбиралась плоская поверхность частиц. Для исследования морфологии поверхности использовался детектор вторичных электронов (SE), обеспечивающий топографический контраст исследуемой поверхности. Для уменьшения заряда поверхности использованы низкие ускоряющие напряжения от 2 до 5 КВ.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Данные по элементному и функциональному составу нативного угля и окисленного азотной кислотой приведены в табл. 1.

По результатам элементного анализа установлено, что количество углерода в нативной форме угля выше, чем в модифицированном угле, а количество кислорода увеличивается. Атомные отношения Н/С и О/С характеризуют структурные особенности органической массы угля. Расчетные значения отношения Н/С характеризуют степень ароматичности угля, а О/С – степень окисления угля. Данные элементного анализа показывают значение возрастания отношения Н/С и О/С после кислотной модификации угля, что свидетельствует об уменьшении степени ароматичности и увеличении кислородсодержащих фрагментов в макромолекуле угля. Результаты определения функциональных групп показали, что при обработке угля кислотой количество всех кислотных центров увеличивается с 4,76 до 8,78 мг-экв/г, -ОН групп с 3,90 до 6,61 мг-экв/г и -COOH групп – с 0,86 до 2,17 мг-экв/г. Уменьшение отношения С/Н указывает на увеличение азотсодержащих фрагментов в структуре угля.

ИК-спектры носителей и катализаторов представлены на рис.1.

В ИК-спектрах рассматриваемых углеродных носителей присутствует широкая и интенсивная полоса поглощения в области 3500–3300 см<sup>-1</sup>, которая относится к -ОН и =NH группам, образующим водородные связи. Характеристические полосы с максимумом в области 1720–1700 см<sup>-1</sup>, вероятно, обусловлены колебаниями связи С=О в карбоксильных и альдегидных группах. Поглощение в области 1300–1000 см<sup>-1</sup> характерно для деформационных колебаний связи О-Н в спиртовых гидроксилах. Полосы поглощения в области 900–700 см<sup>-1</sup> могут быть отнесены к внеплоскостным деформационным колебаниям связей С<sub>ар</sub>-Н. В области ниже 650 см<sup>-1</sup> проявляются колебания скелета углеводородов. Полосы поглощения в области 650–400 см<sup>-1</sup> можно отнести к характеристическим колебаниям метильных -CH<sub>3</sub> групп.

Таблица 1

Элементный и функциональный состав угля

Образец	Элементный состав, атом. %					Атомные отношения			Содержание функциональных групп, мг-экв/г	
	С	Н	N	S	O	Н/С	О/С	С/Н	-COOH	-ОН
НУ	46,04	43,20	0,85	0,23	9,68	0,94	0,21	54,16	0,86	3,90
МУ	42,86	43,01	1,10	0,23	12,79	1,00	0,30	38,96	2,17	6,61

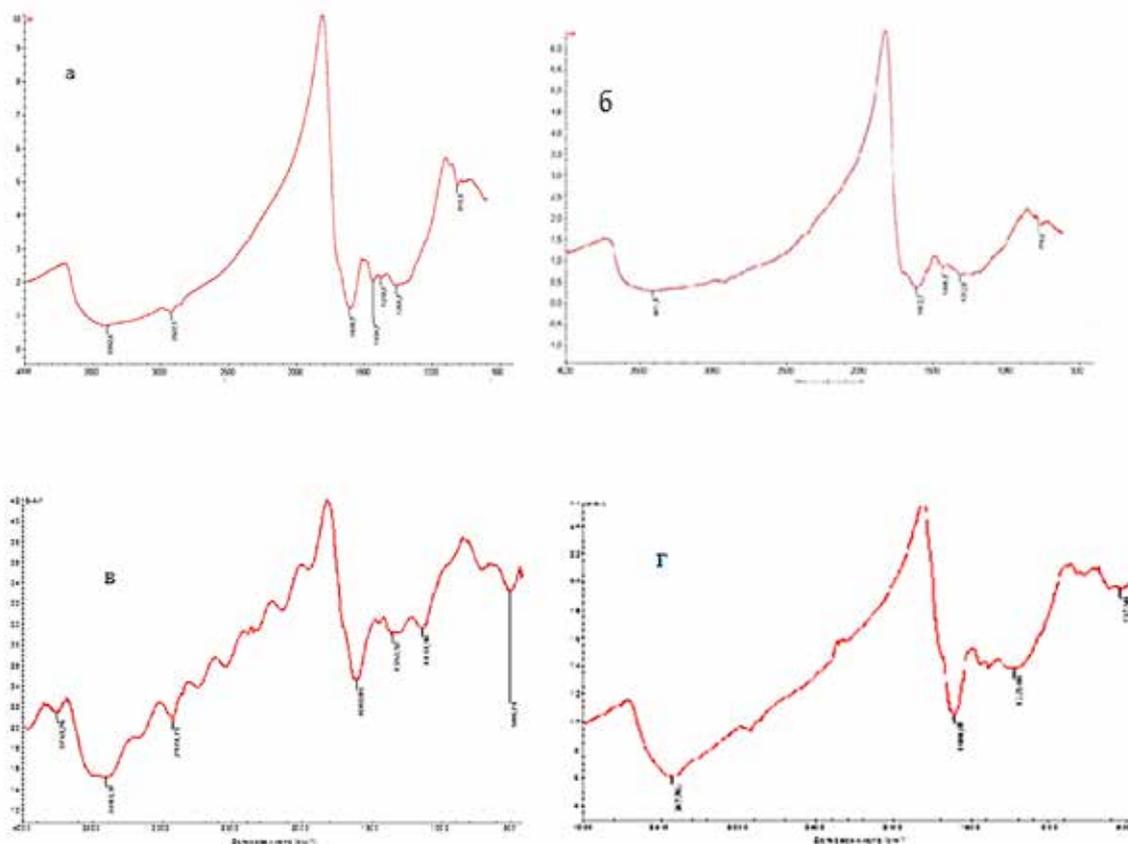


Рис. 1. ИК-спектры носителей НУ (а), МУ (б) и катализаторов НУ-Ag (в), МУ-Ag (г)

В ИК-спектрах угля, обработанного азотной кислотой, в области 1640–1620  $\text{cm}^{-1}$  появляется полоса, характерная для валентных колебаний O-N (O-NO<sub>2</sub>) групп. Валентные колебания связи C=N в группах, сопряженных с открытой цепью, вызывают поглощение в области 1690–1640  $\text{cm}^{-1}$ . Полоса поглощения при 1440–1400  $\text{cm}^{-1}$  характерна для деформационных колебаний –CH<sub>2</sub> групп, соединенных с электроакцепторными N<sup>+</sup> содержащими центрами. Полосы поглощения в области 1340–1250  $\text{cm}^{-1}$  характерны для деформационных колебаний –NH групп.

В спектрах нанесенного на углеродный носитель серебра появляется полоса поглощения в области 1620  $\text{cm}^{-1}$ , показываю-

щая смещение в низкочастотную область, свидетельствующая об ионизации функциональных групп и замещение H<sup>+</sup> на Me<sup>n+</sup>. Замещение водорода на ион металла характеризуется поглощением при 1608  $\text{cm}^{-1}$ . Полосы в области 661–506  $\text{cm}^{-1}$  характерны для колебаний M-C связей. Положение характеристических полос для связи M-C зависит от природы углеродного носителя. При использовании нативного угля валентные колебания связи Ag-C поглощают свет при 506  $\text{cm}^{-1}$ , тогда как на окисленном угле связь Ag-C – при 532  $\text{cm}^{-1}$ .

Текстуальные характеристики углеродных образцов и катализаторов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Текстуальные характеристики образцов

Образец	S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /г	V <sub>пор</sub> , см <sup>3</sup> /г	W <sub>s</sub> , см <sup>3</sup> /г	d, нм	СОЕ, мг-экв/г
НУ	374	0,05	0,02	0,69	0,56
МУ	485	0,45	0,37	0,64	1,44
НУ-Ag	391	0,24	0,05	1,35	–
МУ-Ag	469	0,28	0,04	1,19	–

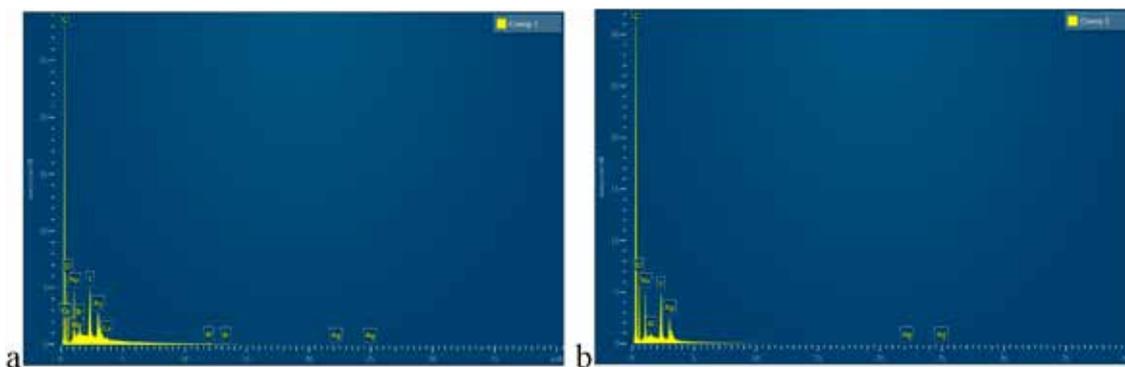


Рис. 2. Данные рентгеновского энергодисперсионного анализа: *a* – HV-Ag, *b* – MV-Ag

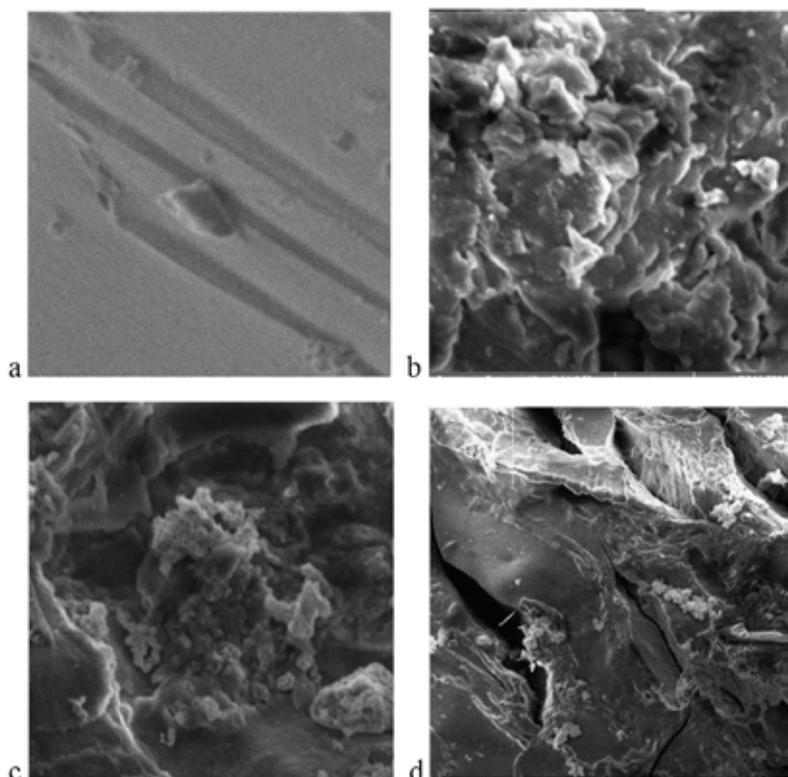


Рис. 3. Снимки СЭМ: HV (*a*), MV (*b*), HV-Ag (*c*), MV-Ag (*d*)

Окисленный образец угля имеет на поверхности большее количество протоногенных групп, чем исходный уголь. Удельная поверхность увеличивается у носителя, обработанного кислотой (MV) и соответствующего катализатора (MV-Ag), что обусловлено наличием микро- и мезопор.

Содержание активного серебра составило 0,96% мас. в HV-Ag, 1,4% мас. MV-Ag, которое подтверждалось с помощью атомно-эмиссионного и рентгеновского энергодисперсионного анализов (рис. 2).

Структура и морфология поверхности носителей и катализаторов изучена сканирующей электронной микроскопией (рис. 3).

Снимки СЭМ полученных образцов показывают наличие пористой структуры. Образец нативного угля (рис. 3, *a*) имеет плотную поверхностную структуру, при этом морфология материала не изменяется. При химической активации угля азотной кислотой получен углеродный носитель с характерной пористой структурой (рис. 3, *b*), рыхлой морфологией поверхности и текстуры. Текстура поверхности серебряных катализаторов (рис. 3 *c*, *d*) состоит из плотно сросшихся глобул, между которыми просматриваются пустоты, образующие бугристую текстуру поверхности. Серебро на поверхности катализаторов имеет кристаллическую структуру.

### Заключение

Получены серебряные катализаторы на основе угля Мин-Куш и изучены их физико-химические свойства. Модифицирование угля кислотой приводит к увеличению протоногенных групп на его поверхности. Изучение физико-химических свойств показывает наличие пористой структуры в образцах углеродных носителей и катализаторов, увеличение удельной поверхности у носителя, обработанного кислотой (МУ) и соответствующего катализатора (МУ-Ag), что обусловлено наличием микро- и мезопор.

### Список литературы

1. Kudaybergenov S.E., Talykhanova G.S., Selenova B.S. Polymer protected and gel immobilized gold and silver nanopar-

ticles in catalysis // *Journal of inorganic and organometallic polymers and materials*. 2016. Vol. 26. No. 6. P. 1198–1210.

2. Chen Z., Pronkin S., Fellingner T. et al. Merging single atom dispersed silver and carbon nitride to a joint electronic system via copolymerization with silver tricyanomethanide. *ACS Nano*. 2016. Vol. 10. No. 3. P. 3166–3175.

3. Щедрова Д.А., Борисович В.Т. Новые области фабрикации спроса на серебро // *Золото и технологии*. 2018. № 2 (40). С. 118–124.

4. Кагакин Е.И., Лапсина П.И., Додонов В.Г., Кашеварова В.И. Способ получения серебряного катализатора на пористом носителе // Патент РФ № 0002578601. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет» (КемГУ), 2016.

5. Галимов Ж.Ф., Дубинина Г.Г., Масагутов Р.М. Методы анализа катализаторов нефтепереработки. М.: Химия, 1973. 192 с.

6. Жоробекова Ш.Ж., Королева Р.П. Методы анализа гуминовых веществ. Бишкек, 2011. 160 с.