

**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 = 0,570

Пятилетний импакт-фактор  
РИНЦ = 0,277

№ 12 2019

Часть 2

Научный журнал  
Scientific journal

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

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

Электронная версия размещается на сайте [www.rae.ru](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); 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 = 0,570.**

**Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,277.**

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

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

Адрес редакции: 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 Л.М. Байгузова

Корректор Е.С. Галенкина

Подписано в печать 10.01.2020

Дата выхода номера 10.02.2020

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. 9,5

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2019/12

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

## СОДЕРЖАНИЕ

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА  
БИОИНДИКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

*Соболева С.В., Есякова О.А., Почекутов И.С.* ..... 175

ИЗУЧЕНИЕ КУЛЬТУРЫ ФИБРОБЛАСТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РОСТОВОГО ФАКТОРА

*Трухан И.С., Дремина Н.Н., Шурыгина И.С.* ..... 182

**ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ  
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО РЕЖИМА СВЧ-ПОЛЕЙ

*Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т., Турдубаева Ч.Б.* ..... 187

**МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ «СТРУКТУРА – СВОЙСТВО» В РЯДУ АМИДОВ  
И ГИДРАЗИДОВ N-АРОИЛЗАМЕЩЕННЫХ ГАЛОГЕН(Н) АНТРАНИЛОВЫХ КИСЛОТ  
ПРИ ПОСТРОЕНИИ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МОЛЕКУЛЯРНОГО ДОКИНГА  
ПО ФЕРМЕНТАМ ЦИКЛООКСИГЕНАЗА 1 И 2

*Андрюков К.В., Коркодинова Л.М.* ..... 192

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕЙТРОФИЛОВ И МОНОЦИТОВ КРОВИ КАК МАРКЕР  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЯЗВЕННОГО КОЛИТА И БОЛЕЗНИ КРОНА

*Емельянова В.А., Демидов А.А., Шварц Р.Н.* ..... 197

**ОБЗОРЫ**

ЭПИЛЕПСИЯ: РИСКИ ДЛЯ БЕРЕМЕННОЙ И ПЛОДА

*Шаталов А.Е., Петров Ю.А., Купина А.Д.* ..... 201

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВЫХ ПОСЕВОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА  
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЛЯХ

*Акимов А.А., Иванютина Н.Н., Васильев А.С., Дроздов И.А., Фаринюк Ю.Т., Зайцев С.С.* ..... 206

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ  
НА ОСЕВУЮ СИЛУ И КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ СВЕРЛЕНИИ И ФРЕЗЕРОВАНИИ

*Кадыров И.Ш., Темирбеков Ж.Т., Турусбеков Б.С., Давлятов У.Р.* ..... 212

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ НА ОБЪЕЗДНЫХ УЧАСТКАХ  
НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

*Молдалиев Э.Д.* ..... 218

---

**СРАВНЕНИЕ УФ-ПЕЧАТИ И СУБЛИМАЦИОННОЙ ПЕЧАТИ В ГОРОДЕ МАГНИТОГОРСКЕ**

*Смирнова А.В., Савина В.Е.* ..... 224

**К ВОПРОСУ О БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

*Шатманов О.Т., Исманов Ю.Х., Айдаралиев Ж.К., Барпиев Б.Б.* ..... 229

**ОБЗОРЫ****ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*Шишакина О.А., Паламарчук А.А.* ..... 234

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ****СВОЙСТВА И СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО  
МАТЕРИАЛА  $\text{CuV}_2\text{O}_4$** 

*Дергачева М.Б., Пузикова Д.С., Хусурова Г.М.* ..... 239

---

**CONTENTS**
**BIOLOGICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

 ASSESSMENT OF KRASNOYARSK ECOSYSTEM POLLUTION  
 BY BIOINDICATION METHOD

*Soboleva S.V., Esyakova O.A., Pochekutov I.S.* ..... 175

 INVESTIGATION OF FIBROBLAST CULTURE UNDER THE ACTION  
 OF GROWTH FACTOR

*Trukhan I.S., Dremina N.N., Shurygina I.A.* ..... 182

**GEOLOGICAL-MINERALOGICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

 INVESTIGATION OF ENERGY-INTENSIVE ROCK DESTRUCTION EXPOSURE  
 TEMPERATURE-TIME MODE MICROWAVE FIELDS

*Sultanalieva R.M., Konushbaeva A.T., Turdubaeva Ch.B.* ..... 187

**MEDICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

 INVESTIGATION OF THE «STRUCTURE – PROPERTY» DEPENDENCE IN THE SERIES  
 OF AMIDES AND HYDRAZIDES OF N-AROYL-SUBSTITUTED HALOGEN (H)  
 ANTHRANILIC ACIDS IN THE CONSTRUCTION OF REGRESSION MODELS  
 OF MOLECULAR DOCKING FOR CYCLOOXYGENASE 1 AND 2 ENZYMES

*Andryukov K.V., Korkodinova L.M.* ..... 192

 THE ENZYMIC ACTIVITY OF NEUTROPHILS AND MONOCYTES BLOOD AS A MARKER  
 FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF ULCERATIVE COLITIS AND CROHN'S DISEASE

*Emelyanova V.A., Demidov A.A., Schwarts R.N.* ..... 197

**REVIEWS**

EPILEPSY: RISKS TO THE PREGNANT WOMAN AND THE FETUS

*Shatalov A.E., Petrov Yu.A., Kupina A.D.* ..... 201

**AGRICULTURAL SCIENCES**
**ARTICLES**

 PRODUCTIVITY METHODS INCREASING OF FLAX VARIETIES  
 AT GROWN ON FALLOW LANDS

*Akimov A.A., Ivanyutina N.N., Vasilev A.S., Drozdov I.A., Farinyuk Yu.T., Zaytsev S.S.* ..... 206

**TECHNICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

 EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF CUTTING SPEED ON AXIAL  
 FORCE AND TORQUE DURING DRILLING AND MILLING

*Kadyrov I.Sh., Temirbekov Zh.T., Turusbekov B.S., Davlyatov U.R.* ..... 212

 TO THE QUESTION OF THE USE OF CIRCLE CROSSING IN ROUN  
 DABOUTS SECTIONS OF SETTLEMENTS

*Moldaliev E.D.* ..... 218

---

**COMPARISON OF UV-PRINTING AND SUBLIMATION PRINTING IN MAGNITOGORSK**

*Smirnova A.V., Savina V.E.* ..... 224

**TO THE QUESTION OF A WIRELESS ENERGY TRANSMISSION SYSTEM  
FOR ELECTRIC CARS**

*Shatmanov O.T., Ismanov Yu.Kh., Aydaraliev Zh.K., Barpiev B.B.* ..... 229

**REVIEWS****REVIEW OF MODERN CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS**

*Shishakina O.A., Palamarchuk A.A.* ..... 234

**CHEMICAL SCIENCES****ARTICLES****PROPERTIES AND METHODS FOR PRODUCING OXIDE SEMICONDUCTOR  
MATERIAL  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$** 

*Dergacheva M.B., Puzikova D.S., Khusurova G.M.* ..... 239

СТАТЬИ

УДК 574.47(571.51)

**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ГОРОДА КРАСНОЯРСКА  
БИОИНДИКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

**Соболева С.В., Есякова О.А., Почекутов И.С.**

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева,  
Красноярск, e-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru*

В работе приведена сравнительная характеристика биоиндикационной способности ели сибирской и сосны обыкновенной. В качестве объекта исследования использовался ассимиляционный аппарат ели сибирской и сосны обыкновенной. Отбор проб проводили в семи районах г. Красноярска, в качестве фона использовали пробы, отобранные в 23 км от краевого центра (в районе ст. Рябинино). Пробы анализировались на показатели средней арифметической длины хвои веток ели сибирской и сосны обыкновенной, влажность, зольность. Результаты сравнивали с фоном. Реакция растений на негативное воздействие атмосферы специфична и зависит от внешних факторов окружающей среды, характера и уровня воздействия, а также исходного состояния растительного организма. В результате проведенных исследований выяснили, что ассимиляционный аппарат ели в большей степени подвержен антропогенному воздействию в условиях городской среды, чем аппарат сосны. Отклонение от фонового, % арифметической длины хвои; влажности; зольности составило для: ели – 39,0; 16,1; 53,1; сосны – 16,2; 13,0, 42,0 соответственно. По результатам исследований можно сделать вывод о возможности использования сосны и ели в качестве биоиндикаторов городских экосистем. Полученные данные могут служить для оценки состояния загрязнения атмосферы и зонирования территорий.

**Ключевые слова:** экосистема, биоиндикация, сосна обыкновенная, ель сибирская, загрязнение атмосферного воздуха

**ASSESSMENT OF KRASNOYARSK ECOSYSTEM POLLUTION  
BY BIOINDICATION METHOD**

**Soboleva S.V., Esyakova O.A., Pochekutov I.S.**

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk,  
e-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru*

The paper presents a comparative characteristic of the bioindication ability of Siberian spruce and pine. The object of the study was the assimilation apparatus of Siberian spruce and pine. Sampling was carried out in seven districts of the city of Krasnoyarsk, as the background samples were used, selected in 23 km from the regional center (near the station Ryabinino). The samples were analyzed for the average arithmetic length of needles of branches of Siberian spruce and pine, humidity, ash content. The results were compared with the background. The reaction of plants to the negative impact of the atmosphere is specific and depends on external environmental factors, the nature and level of exposure, as well as the initial state of the plant organism. As a result of the conducted researches it was found out that the assimilation apparatus of spruce is more subject to anthropogenic influence in the conditions of urban environment than the apparatus of pine. The deviation from the background, % arithmetic length of needles; humidity; ash content was for: spruce-39,0; 16,1; 53,1; pine-16,2; 13,0, 42,0, respectively. According to the results of the research, it can be concluded that pine and spruce can be used as bioindicators of urban ecosystems. The obtained data can be used to assess the state of atmospheric pollution and zoning of territories.

**Keywords:** ecosystem, bioindication, pine, Siberian spruce, atmospheric pollution

В современных условиях научно-технического прогресса все более актуальными становятся альтернативные инструментальные методы биологической индикации неспецифических поллютантов, поступающих в окружающую среду в результате хозяйственной и иной деятельности человека. В качестве биоиндикаторов могут выступать как растительные организмы, так и животные, обладающие способностью реагировать на происходящие изменения компонентного и количественного состава привычных условий обитания. Ответная реакция таких индикаторов возможна благодаря протеканию метаболических процессов в их организме более ускоренными

темпами по сравнению с адаптационными механизмами человека [1].

Определенные виды биоиндикаторов способны предоставить комплексную картину воздействия загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду от антропогенных источников загрязнения. В связи с этим в последнее время все чаще метод биоиндикации включают в программу мониторинговых исследований. Причем чем сложнее организация биологической системы, тем более тесная ее взаимосвязь проявляется с факторами среды обитания.

Одним из достоинств биоиндикационных методов является неспецифичность

реакции живого организма на воздействие поллютантов [2]. Такая способность биологического индикатора выявляется происходящими изменениями как при визуализации отличительных характеристик организма, так и его изменении метаболизма под влиянием разных антропогенных факторов, чем и обусловлена комплексность биоиндикации.

Выраженное отклонение в росте и развитии живого организма в условиях негативного воздействия факторов городской среды проявляется благодаря чувствительности биоиндикатора, а кумуляция эмиссии позволяет посредством экспериментальных исследований охарактеризовать положительную корреляцию между установленной концентрацией загрязняющих веществ в индикаторе и окружающей его среде.

Зачастую в качестве фитоиндикаторов применяются хвойные древесные насаждения, что обусловлено возможностью круглогодичных биоиндикационных исследований, высокой чувствительностью их ассимиляционного аппарата к загрязнителям, поступающим в растительный организм воздушным путем и приводящих к постепенному отмиранию хвои, сокращению срока ее жизни. Кроме того, хвойные насаждения все чаще используются в фитодизайне внешнего облика городов и повсеместно встречаются как в промышленных, так и жилых районах.

Цель исследования: оценка возможности использования ели сибирской и сосны обыкновенной по результатам анализа их ассимиляционных органов в качестве биоиндикаторов интенсивности аэрогенного загрязнения районов г. Красноярск.

### Материалы и методы исследования

В работе оценивались изменения параметров хвои с контрольных и фонового участков. Основными характеристиками ассимиляционного аппарата являлись влажность, зольность, усыхание и повреждение хвои, накопления тяжелых металлов. В качестве объекта исследования использовали хвою ели сибирской и сосны обыкновенной, весьма чувствительных к воздействию поллютантов. Анализ хвои на усыхание проводился визуальным способом по пятибалльной шкале. С каждого пробного участка отбирались образцы хвои с десяти елей и сосен, проводились морфометрические ее замеры, после чего оценивалось общее состояние древостоев рабочих микроучастков. Полученные результаты усреднялись по районам города. Визуальные наблюдения позволили выявить выраженные изменения в структуре кроны деревьев, общем охвоении, продолжительности жизни, окраске и наличии заболеваний хвои. Поврежденную хвою отличали от здоровой по наблюдаемым хлорозам, наличию некротических пятен, некрозов. Морфометрические исследования включали в себя измерения линейных и объемных характеристик двухлетней хвои. Усредненные результаты получали в ходе двукратного измерения 100 хвоинок. Отбор проб проводили в пределах г. Красноярск, в качестве фона использовали пробы, отобранные в районе ст. Рябино. Отбор производился на высоте 1,2–1,3 м от земли. Влажность и зольность хвои определяли по общеизвестным методикам (ГОСТ 21769-84. Зеленая древесная. Технические условия). Схема отбора проб приведена на рис. 1.

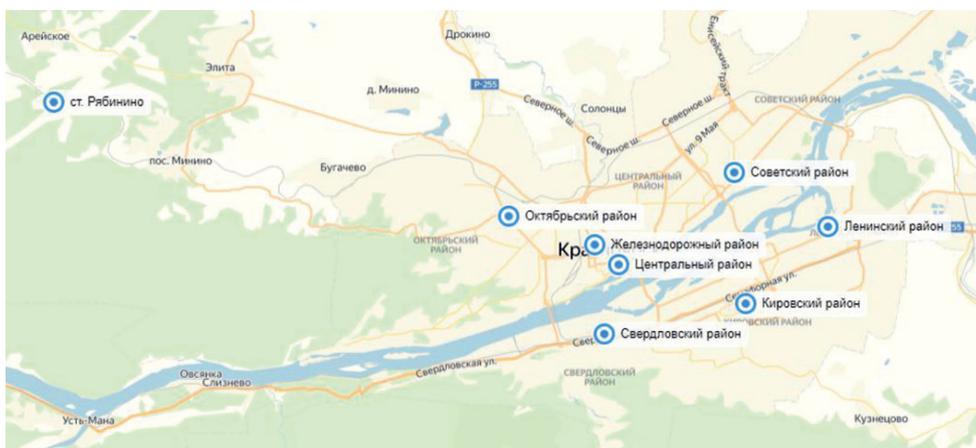


Рис. 1. Схема отбора проб

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

Загрязнение атмосферного воздуха вызывает физиологические изменения в ассимиляционном аппарате объектов исследований, в том числе на уровне биохимических процессов в растительном организме, что приводит к трансформации внутреннего строения и свойств клеток. При накопительном эффекте загрязняющие вещества приводят к проявлению внешних изменений древесостоев. Наиболее наглядно отклонения наблюдаются у вегетативных органов древесных пород и чаще всего воздействие токсикантов выражается в уменьшении размеров и изменении окраски хвои, снижения общей охвоенности дерева [3]. В связи с этим целесообразно проводить оценку экологической обстановки территории по вариативности ассимиляционного аппарата, позволяющую оперативно, достаточно достоверно и без использования специального оборудования представить объективное описание степени загрязненности исследуемого района. Результаты метрических измерений представлены в табл. 1.

Анализ замеров длины хвоинок позволяет констатировать очевидное отличие определяемого параметра хвои деревьев фоновой участка от контрольных образцов, причем отклонение значений длины ели сибирской от фона в среднем составляет 39%, у контрольных образцов хвои сосны обыкновенной отклонение от фоновых показателей менее выражено и в среднем составляет 16%.

В фоновых древесостоях вследствие взаимного затенения хвои, из-за уменьшения их числа на вершине дерева и постепенного увеличения освещенности, показатели измерения линейных размеров и массы хвоинок возрастают от нижней части кроны к верхней [4]. При усилении воздушной

эмиссии подобная закономерность практически не выявляется.

Регулярное воздействие поллютантов вызывает адаптацию растительного организма к условиям произрастания, что проявляется в приобретении видоизмененной структуры и перестройки процессов функционирования организма путем изменения интенсивности обмена веществ в ассимиляционном аппарате. Негативное влияние токсичных химических соединений на растительный организм приводит к увеличению в нем скорости превращений, изменению компонентного состава и биопродуктивности, что является причиной варьирования физиологических показателей хвои. Биоиндикационный анализ позволяет выявить основные факторы, оказывающие как прямое, так и опосредованное влияние на специфичную реакцию растительного организма: климатические и метеофакторы окружающей среды, периодичность и уровень воздействия, а также исходное состояние биоиндикатора. Благодаря этому древесные насаждения могут быть использованы в качестве эффективных индикаторов воздушной эмиссии конкретной территории, оценки уровня ее загрязнения [5].

Обследование состояния хвои проводят по наличию повреждений на ней и степени усыхания ассимиляционного аппарата.

Анализ полученного обследования хвои показал, что наиболее загрязненными являются условия произрастания растений в Свердловском и Ленинском районах, степень повреждения хвои составляет 69 и 55% соответственно. Выявленные наблюдения подтверждаются высокой концентрацией производственных объектов и повышенной нагрузкой автомагистралей данных районов города. Причем во всех случаях ответная реакция растительного организма на внешние экологические факторы выше в случае применения ели сибирской в качестве биоиндикатора.

**Таблица 1**

Значение линейного параметра длины хвои сосны обыкновенной и ели сибирской, мм (июль 2019)

Район/ населенный пункт	Ель сибирская	Сосна обыкновенная
Советский	1,7 ± 0,1	6,3 ± 0,3
Центральный	2,2 ± 0,2	6,9 ± 0,3
Железнодорожный	1,7 ± 0,2	5,2 ± 0,3
Октябрьский	1,8 ± 0,2	5,4 ± 0,3
Свердловский	1,9 ± 0,2	5,6 ± 0,2
Кировский	2,1 ± 0,2	7,0 ± 0,4
Ленинский	1,8 ± 0,3	6,7 ± 0,2
Среднее значение	1,9 ± 0,2	6,2 ± 0,2
ст. Рябиново (фоновое)	3,1 ± 0,1	7,3 ± 0,2
Отклонение от фоновое, %	39,0	16,0

Таблица 2

Результаты определения степени повреждения и усыхания хвои ели сибирской и сосны обыкновенной (июль, 2019)

Районы отбора проб	Состояние хвои обследовано	Количество хвоинок	
		100	
		Ель сибирская	Сосна обыкновенная
1	2	3	4
Центральный район	Повреждение* хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс	58	64
		24	24
		16	11
	Усыхание** хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс 4-й класс	83	85
		17	10
		0	5
0		0	
Железнодорожный район	Повреждение хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс	61	64
		26	33
		16	2
	Усыхание хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс 4-й класс	54	99
		38	1
		4	0
4		0	
Октябрьский район	Повреждение хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс	12	58
		86	39
		5	4
	Усыхание хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс 4-й класс	84	85
		16	10
		0	5
0		0	
Советский район	Повреждение хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс	11	86
		68	15
		22	2
	Усыхание хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс 4-й класс	90	95
		10	5
		0	0
0		0	
Свердловский район	Повреждение хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс	21	28
		12	31
		68	42
	Усыхание хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс 4-й класс	29	50
		15	12
		56	38
0		0	
Кировский район	Повреждение хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс	28	38
		47	43
		25	17
	Усыхание хвои: 1-й класс 2-й класс 3-й класс 4-й класс	72	98
		10	2
		8	0
10		0	

Окончание табл. 2			
1	2	3	4
Ленинский район	Повреждение хвои:		
	1-й класс	18	28
	2-й класс	27	17
	3-й класс	56	53
	Усыхание хвои:		
	1-й класс	80	84
2-й класс	19	12	
3-й класс	1	4	
4-й класс	0	0	
Станция Рябино	Повреждение хвои:		
	1-й класс	98	98
	2-й класс	3	2
	3-й класс	1	0
	Усыхание хвои:		
	1-й класс	100	100
2-й класс	0	0	
3-й класс	0	0	
4-й класс	0	0	

Примечание. \*Класс повреждения хвои: 1 – хвоя без пятен, 2 – хвоя с небольшим количеством пятен, 3 – хвоя с большим количеством темных и жёлтых пятен, некоторые из них отмечаются во всю ширину хвои.

\*\*Класс усыхания хвои: 1 – сухие участки отсутствуют, 2 – усох кончик 2–5 мм, 3 – усохла одна треть хвоинки, 4 – вся хвоинка пожелтела или более половины её длины высохла.

**Таблица 3**

Влажность хвои сосны обыкновенной и ели сибирской, % на а.с.с. (июль 2019)

Район/ населенный пункт	Ель сибирская, %	Сосна обыкновенная, %
Советский	54,0 ± 0,4	47,7 ± 0,3
Центральный	47,4 ± 0,2	50,9 ± 0,2
Железнодорожный	47,0 ± 0,3	51,7 ± 0,2
Октябрьский	45,7 ± 0,4	48,8 ± 0,2
Свердловский	47,6 ± 0,2	50,6 ± 0,3
Кировский	46,6 ± 0,1	50,4 ± 0,4
Ленинский	46,9 ± 0,2	50,8 ± 0,2
Среднее значение	47,9 ± 0,2	50,1
ст. Рябино (фоновое)	57,1 ± 0,1	57,6 ± 0,1
Отклонение от фонового, %	16,1	13,0

Немаловажным показателем состояния хвойных древостоев как элемента экосистемы является влажность. Влажность хвои определяли по общеизвестным методикам (ГОСТ 21769-84. Зелень древесная. Технические условия). Более наглядная возможность зонирования территории по уровню загрязнения воздушной среды выявлена по показателю влажности хвои, результаты определения которой представлены в табл. 3.

Как показывают экспериментальные данные, влажность хвои контрольных участков незначительно, но уменьшается под воздействием запыленного и загазованного атмосферного воздуха в связи с изменением плотности устьиц хвоинок,

определяющей площадь для газового обмена анатомических элементов хвои с атмосферой. Результаты измерения влажности в хвое согласуются с данными других авторов, что подтверждает зависимость между содержанием влаги в хвое и уровнем антропогенной нагрузки, что позволяет использовать показатель влагосодержания как индикатор экологического прессинга в условиях городской агломерации [6].

Загрязнение атмосферного воздуха, заключающееся в увеличении несвойственных для него минеральных компонентов, постепенно отражается на растительном организме, ухудшая функционирование и устойчивость насаждений. Такие измене-

ния объясняются тем, что минеральные вещества активно участвуют в обменных процессах растений и изменение качественного и количественного состава минералов, особенно тяжелых металлов, отражается в первую очередь на состоянии ассимиляционного аппарата. При проведении серии опытов по установлению минерального состава анализировались образцы хвои на всех исследуемых участках. Однако представительными в данном случае являлись зоны с наиболее интенсивной антропогенной нагрузкой. Данные по показателю зольности проб представлены в табл. 4.

В результате анализа полученных данных наблюдается динамика содержания золы в хвое древесных пород в сторону уменьшения при удалении от промышленных к лесным районам. Немаловажное значение при оценке уровня загрязнения территории имеет изменчивость содержания компонентов в хвое исследованных участков. Что можно наблюдать на при-

мере накопления тяжелых металлов в хвое ели обыкновенной, мг/кг (июль 2019 г.), как наиболее чувствительной древесной породы к аккумуляции поллютантов согласно данным табл. 4. Содержание минеральных компонентов в хвое представлены на рис. 2.

Согласно анализу данных, можно предположить, что поступление аэрозолей тяжелых металлов из воздуха и их накопление в хвое ели сибирской происходит как пассивным, так и активным путем от различных источников техногенного загрязнения, в том числе от автомагистралей, производственных площадок. Результат исследований показал, что содержание тяжелых элементов в хвое уменьшается по мере удаления места произрастания насаждений от источников эмиссии и достигает минимального в районе ст. Рябино по всем исследуемым компонентам. Полученные данные хорошо согласуются с проведенными ранее исследованиями на территории заповедника Столбы [7].

Таблица 4

Зольность хвои ели сибирской и сосны обыкновенной, % (июль 2019)

Район/ населенный пункт	Показатель зольности, %	
	Ель сибирская	Сосна обыкновенная
Советский	3,2 ± 0,22	2,0 ± 0,3
Центральный	2,1 ± 0,41	1,1 ± 0,1
Железнодорожный	2,6 ± 0,15	1,2 ± 0,2
Октябрьский	2,0 ± 0,31	1,0 ± 0,08
Свердловский	1,9 ± 0,14	1,6 ± 0,2
Кировский	1,9 ± 0,21	1,4 ± 0,1
Ленинский	7,6 ± 0,10	1,5 ± 0,2
Среднее значение	3,0 ± 0,25	1,4 ± 0,06
ст. Рябино	1,4 ± 0,22	0,8 ± 0,05
Отклонение от фонового, %	53,0	42,0

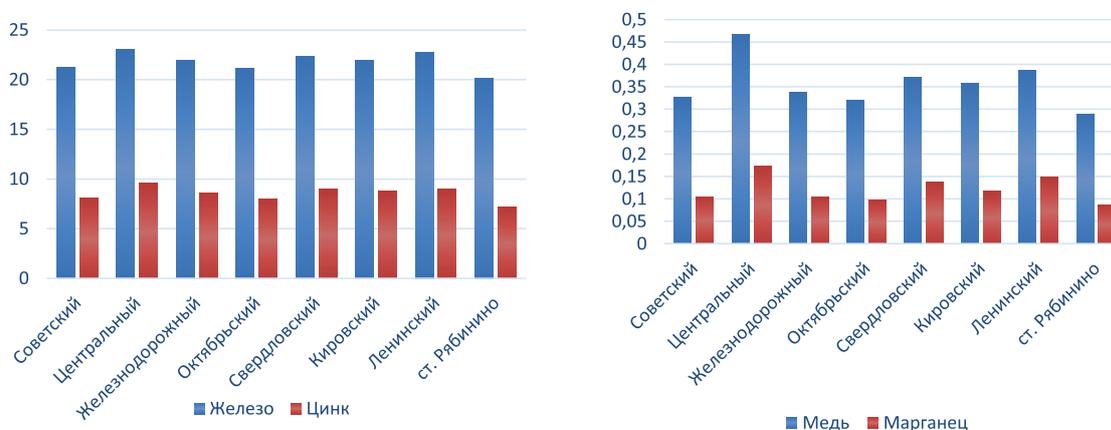


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в хвое ели сибирской, мг/кг (июль 2019)

Необходимо также отметить, что предложенный способ оценки экологического состояния территории посредством биоиндикационных показателей растительного организма с использованием ели сибирской и сосны обыкновенной достаточно прост в применении, не требует дорогостоящего оборудования и может осуществляться в полевых условиях при проведении экологического мониторинга.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что ассимиляционный аппарат ели сибирской в большей степени подвержен антропогенному воздействию в условиях городской среды, чем аппарат сосны обыкновенной. Отклонение от фонового, % арифметической длины хвои; влажности; зольности составило для ели – 39,0; 16,1; 53,1; сосны – 16,2; 13,0, 42,0 соответственно. По результатам исследований можно сделать вывод о возможности использования ели сибирской и сосны обыкновенной в качестве биоиндикаторов интенсивности аэрогенного загрязнения городских экосистем. Полученные данные могут служить для оценки состояния атмосферного воздуха и зонирования территорий.

### Список литературы

1. Душкова Д.О., Горецкая А.Г., Евсеев А.В. Применение биоиндикационных методов при проведении мониторинговых исследований окружающей среды // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития: тезисы докладов Всероссийской научной конференции (Москва, 20–22 марта 2017 г.). 2017. № 2. С. 10–15.
2. Фуксман И.Л., Пойкалайнен И.Л., Шредере С.М. Физиолого-биохимическая индикация состояния сосны обыкновенной в связи с воздействием промышленных поллютантов // Экология. 1997. № 3. С. 213–217.
3. Есякова О.А., Степень Р.А. Влияние загрязнения воздушной среды [г. Красноярск] на компонентный состав ассимиляционного аппарата ели сибирской // Экологическая химия. 2009. Т. 18. Вып. 2. С. 93–98.
4. Кирпичникова Т.В., Шавнин С.А., Кривошеев А.А. Состояние фотосинтетического аппарата хвои сосны и ели в зонах промышленного загрязнения при разных микроклиматических условиях // Физиология растений. 1995. Т. 42. № 1. С. 107–111.
5. Клевцова М.А., Михеев А.А., Якутин А.И. Экологическая оценка загрязнения воздушной среды биоиндикационными методами // Приволжский научный вестник. 2015. № 3–2 (43). С. 82–85.
6. Рыбак В.А. Интегральная оценка экологического состояния урбанизированных территорий // Научный вестник НЛТУ Украины. 2015. Вып 255. С. 135–145.
7. Воронин В.М., Соболева С.В. Изучение биоиндикационной способности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) // Материалы VI Международного симпозиума имени Б.Н. Уголева, посвященного 50-летию Регионального координационного совета по современным проблемам древесинovedения (Красноярск, 10–16 сентября 2018 г.). Новосибирск: Издательство СО РАН, 2018. С. 56–61.

УДК 577.1:611.018.21:612.398:616-092.9

## ИЗУЧЕНИЕ КУЛЬТУРЫ ФИБРОБЛАСТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РОСТОВОГО ФАКТОРА

Трухан И.С., Дремина Н.Н., Шурыгина И.С.

ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», Иркутск, e-mail: [iscst@mail.ru](mailto:iscst@mail.ru)

Основной фактор роста фибробластов (bFGF) относится к семейству низкомолекулярных гепарин-связывающих полипептидов, характеризующихся широким спектром биологических активностей в отношении различных типов клеток. В организме bFGF выполняет многочисленные функции: активирует пролиферацию клеток и инициирует активацию фибробластов во время репарации ткани, стимулирует ангиогенез, дифференциацию клеток и их миграцию, участвует в развитии воспалительной реакции, а также необходим для эмбрионального развития. При воздействии bFGF на культуру перитонеальных фибробластов крысы наблюдалось интенсивное разрушение коллагена, округление и открепление фибробластов от субстрата и образование крупных конгломератов, состоящих из нескольких десятков клеток, соединенных коллагеновыми волокнами. Иммунофлуоресцентный анализ содержания в исследуемых клетках белка Bcl-2, модулирующего чувствительность клеток к проапоптотическим сигналам и, соответственно, влияющего на способность клеток выживать в изменяющихся условиях, показал более интенсивную, структурированную окраску Bcl-2 в контрольной группе, тогда как клетки, подвергнутые воздействию bFGF, характеризовались более бледной и неравномерной окраской. Статистический анализ полученных данных также подтвердил достоверное снижение средней интенсивности флуоресценции после воздействия фактором роста на фибробласты, что может быть связано как с регуляцией апоптоза, так и с другими возможными функциями, выполняемыми в культивируемых клетках белком Bcl-2.

**Ключевые слова:** культура клеток, перитонеальные фибробласты, bFGF, Bcl-2, иммунофлуоресцентный анализ

## INVESTIGATION OF FIBROBLAST CULTURE UNDER THE ACTION OF GROWTH FACTOR

Trukhan I.S., Dremina N.N., Shurygina I.A.

*Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology, Irkutsk, e-mail: [iscst@mail.ru](mailto:iscst@mail.ru)*

Basic fibroblast growth factor (bFGF) is a part of the low molecular weight heparin-binding polypeptides family characterized by a wide range of biological activities towards various cell types. In the organism, bFGF performs numerous functions – one activates cell proliferation and initiates fibroblast activation during tissue repair, stimulates angiogenesis, cell differentiation and migration, involved in the inflammatory response progression, and it is also necessary for embryonic development. In the rat peritoneal fibroblasts culture exposed to bFGF, we observed the intensive destruction of collagen, fibroblast rounding and detaching from the substrate and the formation of large conglomerates consisting of several dozen cells bound by collagen fibers. Content of the Bcl-2 proteins that modulate the cell sensitivity to proapoptotic signals and consequently affect the cell ability to survive in changing conditions were examined by immunofluorescence analysis of cell culture samples. Assay showed a more intense structured Bcl-2 stain in the control group, whereas the cells exposed to bFGF were characterized by a paler and inhomogeneous stain. Statistical analysis of the data also confirmed a significant decrease of the average fluorescence intensity after treatment of fibroblasts with growth factor, what may be related to the either regulation of apoptosis or other possible functions performed by Bcl-2 proteins in cultured cells.

**Keywords:** cell culture, peritoneal fibroblasts, bFGF, Bcl-2, immunofluorescence analysis

Факторы роста фибробластов (FGF – fibroblast growth factors) представляют собой семейство низкомолекулярных гепарин-связывающих структурно родственных полипептидов, состоящее из 23 белковых факторов. FGF характеризуются широким спектром биологических активностей в отношении различных типов клеток, основной из которых считается митогенная активность в отношении фибробластов, а также эндотелиальных клеток, хондроцитов, меланоцитов, гладкомышечных клеток сосудов и др. [1, 2].

Одним из первых идентифицированных и наиболее изученных факторов является основной фактор роста фибробластов (bFGF или FGF2). В организме bFGF

выполняет многочисленные функции: участвует в репарации тканей, стимулирует ангиогенез в нормальном и патологическом состояниях (при канцерогенезе), влияет на тонус сосудов, участвует в воспалительных реакциях, важен для нормального развития плода, играет роль в развитии коры головного мозга и дифференциации тканей. Кроме того, bFGF является одним из медиаторов клеточной пролиферации и подавления клеточной гибели при канцерогенезе [2]. На клеточном уровне FGF стимулирует пролиферацию фибробластов и эндотелиальных клеток, способствует миграции эндотелиоцитов, регулируя протеолиз и экспрессию молекул адгезии, подавляет апоптоз нейронов,

стимулирует выработку IL-6 [1, 2]. Кроме того, bFGF может играть роль в активации фибробластов в процессе репарации ткани в норме, в также при патологическом развитии фиброза. При этом активированные фибробласты отличаются морфологически и функционально от неактивированных клеток и характеризуются более крупными размерами, большей подвижностью и гиперсинтезом белков внеклеточного матрикса, в частности коллагенов I и III, а также экспрессией таких белков, как  $\alpha$ -гладкомышечный актин ( $\alpha$ -SMA), белок активации фибробластов (FAP), матричные металлопротеиназы (MMPs) и их ингибиторы (TIMPs) и т.д. [3].

В связи с этим целью данной работы является изучение воздействия bFGF на культуру перитонеальных фибробластов крысы и содержание в клетках антиапоптотического белка Bcl-2.

#### Материалы и методы исследования

##### *Выделение первичной культуры фибробластов из сальника крысы*

Проведен острый эксперимент по выделению первичной культуры фибробластов из сальника взрослой крысы линии Wistar весом 200 г. Животных содержали в условиях вивария при свободном доступе к пище и воде на рационе питания, соответствующем нормативам ГОСТа. Эксперимент на животных выполнялся в соответствии с правилами гуманного обращения с животными, которые регламентированы «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (Приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР от 12.08.1977 г. № 755). Все оперативные вмешательства проводились в асептических условиях. В качестве наркоза внутримышечно вводили 2% рометар в расчете 0,2 мл на кг веса.

Первичную культуру получали, фрагментируя иссеченный сальник и дезагрегируя фрагменты ткани при 37°C в DMEM (Dulbecco's Modified Eagle's Medium), содержащей 200 ед/мл коллагеназы, 2% антибиотик/антимикотик (10,000 ед/мл пенициллина, 10,000 мкг/мл стрептомицина и 25 мкг/мл амфотерицина В, Gibco). Активность коллагеназы в суспензии подавляли равным количеством DMEM, содержащей 15% FBS (Fetal Bovine Serum, Sigma-Aldrich) и 1% антибиотик/антимикотик, после чего клетки дважды промывали в DMEM, дополненной 10% FBS, 1% антибиотиком/антимикотиком, центрифугируя суспензию при 500 G в течение 5 мин. Культивировали выделенные фибробласты в DMEM, содержа-

щей 10% FBS, 1% антибиотик/антимикотик при температуре 37°C, влажности 80% и 5% CO<sub>2</sub> в Biostation CT, Nikon.

Для получения чистой культуры фибробласты субкультивировали через каждые 7 суток и после третьего пассажа обрабатывали bFGF в концентрации 133 пг/мл. Контролем служили клетки, не подвергавшиеся воздействию фактора роста (в культуру вносили соответствующее количество DMEM).

##### *Иммунофлюоресцентное окрашивание*

Для иммунофлюоресцентного исследования клетки фиксировали 70% этанолом и окрашивали антителами к Bcl-2 (Cat. 1017-S, Lot E01182, Epitomics) в рабочем разведении 1:200. В качестве вторичных антител использовали Alexa fluor 488 goat anti-rabbit IgG (Invitrogen, Cat. A-11034) в разведении 1:300. Ядра окрашивали Hoechst (Invitrogen, Cat. NH-3570, Lot822389), 1:300.

Для визуализации специфической окраски и фотофиксации образцов использовали BioStation CT 4.1, Nikon, анализа интенсивности флуоресценции проводили при помощи программного продукта NIS-Elements AR, v. 5.00. Статистический анализ осуществляли в среде программирования R. В исследовании использовали оборудование центра коллективного пользования «Диагностические изображения в хирургии».

#### Результаты исследования и их обсуждение

##### *Морфологические изменения в культуре перитонеальных фибробластов*

На первом этапе нами была получена первичная культура фибробластов из сальника крысы. По прошествии семи суток клетки субкультивировали для перехода к чистой культуре, и после трех пассажей фибробласты были введены в эксперимент. В результате активации клеток фактором роста фибробластов в концентрации 133 пг/мл выраженные изменения наблюдались уже через 30 мин после начала воздействия. В культуре фибробластов происходило интенсивное разрушение коллагена, коллагеновые волокна истончались, образуя между клетками сеть коллагеновых нитей; прикрепленные фибробласты округлялись, отсоединялись от субстрата и свободно перемещались в культуральной среде. Кроме того, на участках, которые характеризовались наибольшей плотностью клеток, наблюдалось образование крупных конгломератов, состоящих из нескольких десятков клеток, соединенных коллагеновыми волокнами (рис. 1). Со временем клеточные конгломераты уплотнялись, формируя бо-

лее компактные образования, которые при механическом воздействии (перемещении культурального сосуда или добавлении среды) распадались на отдельные клетки или меньшие по размеру кластеры. В контрольных образцах подобной картины не наблюдалось (рис. 2).

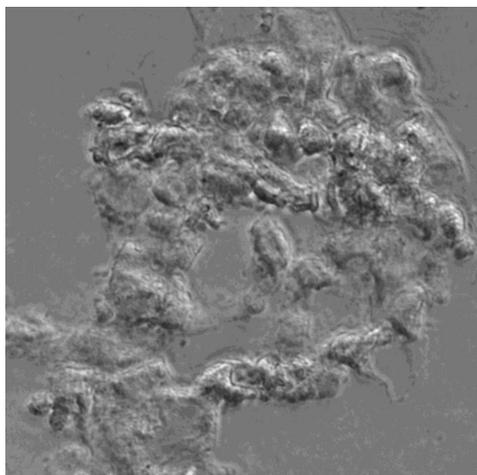


Рис. 1. Конгломераты, образованные фибробластами после воздействия bFGF. Увеличение  $\times 40$

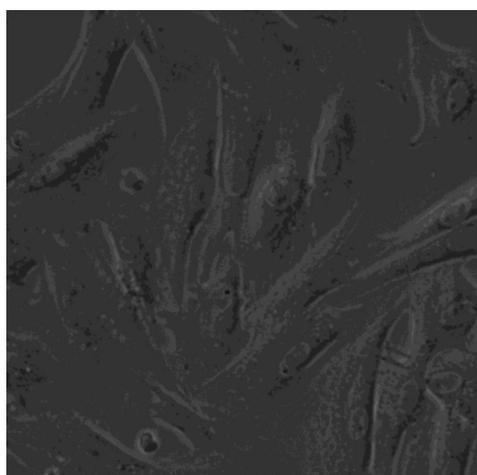


Рис. 2. Фибробласты, не подвергавшиеся воздействию bFGF. Увеличение  $\times 40$

#### Иммунофлуоресцентные исследования

Для изучения активности окислительного фосфорилирования на третьи сутки воздействующие активными веществами культивируемые клетки фиксировали и окрашивали антителами к белку Bcl-2. Ядра окрашивали Hoechst.

Bcl-2 (белок В-клеточной лимфомы) является антиапоптотическим белком, принадлежащим семейству Bcl-2,

в которое входят как анти-, так и проапоптотические белки [4]. Как правило, антиапоптотические белки семейства Bcl-2 представляют собой трансмембранные белки, присутствующие в наружной мембране митохондрий, эндоплазматическом ретикулуме и ядерной мембране [5]. Они ингибируют апоптоз, связывая и изолируя проапоптотические белки с образованием гетеродимеров и таким образом предотвращая их транслокацию во внешнюю митохондриальную мембрану, ее последующую пермеабиллизацию и высвобождение апоптотических белков (цитохрома С, апоптоз-индуцирующего фактора (AIF), эндонуклеазы G) из межмембранного пространства в цитозоль, где они инициируют каскад каспаз, а также каспаз-независимые механизмы клеточной гибели [4]. Например, было продемонстрировано, что белок Bcl-2 предотвращает апоптоз, индуцированный такими стимулами, как недостаток сыворотки, тепловой шок и воздействие химиотерапевтических препаратов [6]. Кроме того, было показано, что Bcl-2 способен ингибировать некоторые формы некротической гибели клеток, например некроз, вызванный гипоксией и угнетением дыхания. Помимо апоптоза белки Bcl-2 семейства играют роль в регуляции биоэнергетического метаболизма, в функционировании митохондрий, в том числе в потреблении кислорода и синтезе АТФ, а также в митозе и аутофагии [6]. Также было продемонстрировано, что резистентность фибробластов сердца к апоптозу, индуцируемому стауроспорином, этопозидом, удалением сыворотки или моделируемой ишемией, зависит от высокого уровня экспрессии белка Bcl-2, тогда как в фибробластах кожи и легких этот белок не был обнаружен [7].

Влияние основного фактора роста фибробластов на уровень экспрессии Bcl-2 исследовалось в основном на опухолевых клетках. Например, было показано, что bFGF повышает уровень экспрессии Bcl-2 в клетках при В-клеточном хроническом лейкозе, при мелкоклеточном раке легких и при фокальной церебральной ишемии [8]. Культивирование эндотелиальных клеток легких пациентов с идиопатической легочной артериальной гипертензией также показало связь сверхэкспрессии основного фактора роста фибробластов с повышенным уровнем экспрессии Bcl-2 и сниженной чувствительностью клеток к фактору, индуцирующему апоптоз (удаление сыворотки) [9]. Кроме того, было описано индуцируемое bFGF повы-

шение уровня экспрессии Vcl-2 в клетках ATDC5 (мышинной хондрогенной клеточной линии), предотвращающее апоптоз, стимулированный TNF- $\alpha$  [10]. В клетках рака молочной железы, напротив, было продемонстрировано снижение уровня как мРНК, так и белка Vcl-2 в результате воздействия bFGF [11]. В то же время основной фактор роста фибробластов не оказал значительного влияния на базовый уровень Vcl-2 в меланоцитах, культивируемых на коллагеновом геле, тогда как воздействие трансформирующего фактора роста (TGF- $\beta$ 1) привело к значительному снижению уровня Vcl-2 в клетках, что было отменено при совместном воздействии bFGF и TGF- $\beta$ 1 [8].

Противоречивы также опубликованные данные об изменении уровня Vcl-2 при активации фибробластов в результате воздействия факторами роста. На фибробластах легких крысы было показано, что воздействие TGF- $\beta$ 1 полностью подавляло индуцированный IL-1 $\beta$  апоптоз путем положительной регуляции экспрессии Vcl-2, а также предотвращало снижение экспрессии  $\alpha$ -SMA и индуцировало дифференцировку клеток в миофибробласты [12]; увеличение количества Vcl-2 после воздействия TGF- $\beta$ 1 также было продемонстрировано на фибробластах легких человека [13]. Однако при активации фибробластов человека и мыши тромбоцитарным фактором роста (Platelet-derived growth factor, PDGF) наблюдалось снижение количества Vcl-2, которое тем не менее не влияло на выживаемость клеток, так как ингибирование

Vcl-2 не индуцировало апоптоз, в отличие от ингибирования Vcl-xL [14].

В нашем исследовании флуоресцентная окраска антиапоптотического белка Vcl-2 в контрольной группе была более интенсивной, структурированной и визуализировалась в цитоплазматической области клеток. Также в контрольных образцах наблюдалось специфическое окрашивание четко структурированных ядер овальной формы (рис. 3). В то же время клетки, подвергнутые воздействию bFGF, характеризовались более бледной и неравномерной окраской Vcl-2, занимающей весь объем клетки и частично перекрывающей окраску ядер, которые также отличались менее интенсивной флуоресцентной окраской и нечеткими контурами (рис. 4).

Статистический анализ полученных данных также подтвердил достоверное снижение средней интенсивности флуоресценции Vcl-2 в фибробластах после воздействия фактором роста (рис. 5). В данном случае уменьшение количества антиапоптотического белка в результате воздействия bFGF может быть связано как с регуляцией апоптоза и повышением чувствительности клеток к апоптотическим факторам, так и с другими возможными функциями, выполняемыми в культивируемых клетках белком Vcl-2. В последнем случае резистентность к апоптотической гибели может зависеть от других антиапоптотических белков, как ранее было показано для активации фибробластов PDGF [14].

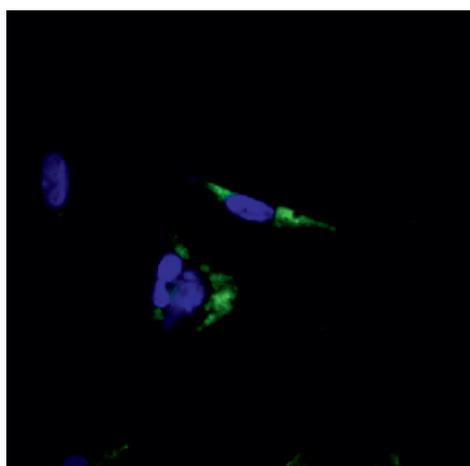


Рис. 3. Флуоресцентное окрашивание контрольной группы фибробластов: Vcl-2 (зеленый цвет), Hoechst (синий цвет). Увеличение  $\times 40$

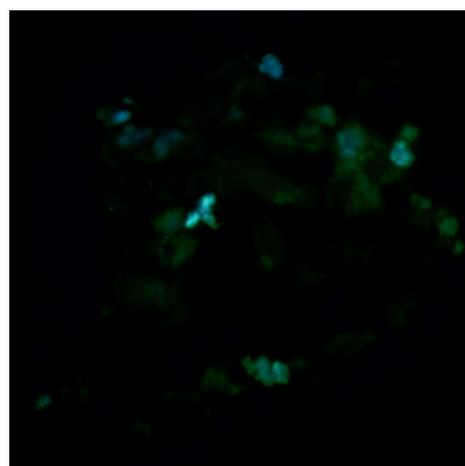


Рис. 4. Флуоресцентное окрашивание фибробластов после воздействия bFGF: Vcl-2 (зеленый цвет), Hoechst (синий цвет). Увеличение  $\times 40$

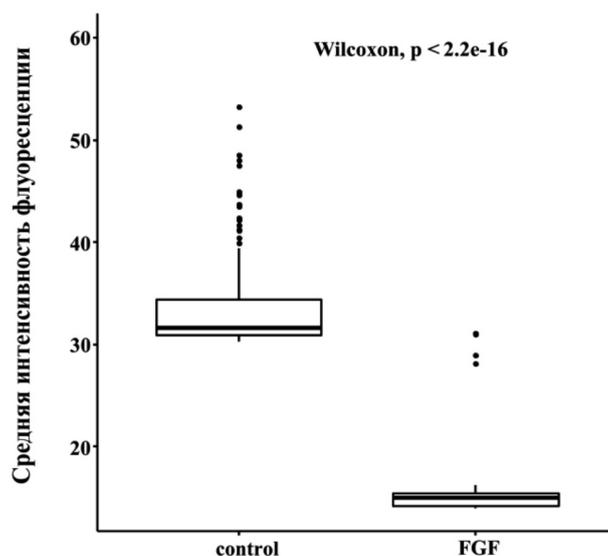


Рис. 5. Сравнение средней интенсивности флуоресцентного окрашивания Bcl-2 (критерий Уилкоксона – Манна – Уитни) в контрольной группе фибробластов и в культуре после воздействия bFGF. Представлены медианы, первые и третьи квартили. Достоверными считаются различия при  $p < 0,05$

### Заключение

Анализ полученных результатов показал, что основной фактор роста фибробластов в концентрации 133 пг/мл оказывает значительное влияние на морфологию, подвижность и, возможно, жизнеспособность культивируемых клеток, а также на структуру исследуемой культуры перитонеальных фибробластов, которая определяется способностью клеток синтезировать и реконструировать коллагеновый матрикс. Индуцированное bFGF снижение количества антиапоптотического белка Bcl-2 в культивируемых фибробластах может быть связано с повышением чувствительности клеток к апоптотическим факторам или с другими возможными функциями, выполняемыми данным белком.

### Список литературы

1. Шурыгин М.Г., Каня О.В., Дремина Н.Н., Шурыгина И.А. Морфометрический анализ влияния факторов роста на фибробластическую фазу воспаления при экспериментальном инфаркте миокарда // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2014. № 3 (97). С. 105–108.
2. Belov A.A., Mohammadi M. Molecular Mechanisms of Fibroblast Growth Factor Signaling in Physiology and Pathology. Cold Spring Harb Perspect Biol. 2013. № 5 (6). P. 1–24. DOI: 10.1101/cshperspect.a015958.
3. Darby I.A., Laverdet B., Bonté F., Desmoulière A. Fibroblasts and myofibroblasts in wound healing. Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology. 2014. № 7. P. 301–311. DOI: 10.2147/CCID.S50046.
4. Dai H., Meng X.W., Kaufmann S.H. Bcl2 Family, Mitochondrial Apoptosis, and Beyond // Cancer Transl Med. 2016. № 2 (1). P. 7–20. DOI:10.1007/s00204-014-1448-7.
5. Siddiqui W.A., Ahad A., Ahsan H. The mystery of Bcl2 family: Bcl-2 proteins and apoptosis:an update.

Arch Toxicol. 2015. № 89 (3). P. 289–317. DOI: 10.1007/s00204-014-1448-7.

6. Hardwick J.M., Soane L. Multiple Functions of Bcl-2 Family Proteins // Cold Spring Harb Perspect Biol. 2013. № 5 (2). pii: a008722. DOI: 10.1101/cshperspect.a008722.

7. Mayorga M., Bahi N., Ballester M., Comella J.X., Sanchez D. Bcl-2 Is a Key Factor for Cardiac Fibroblast Resistance to Programmed Cell Death. J. Biol. Chem. 2004. № 279 (33). P. 34882–34889. DOI: 10.1074/jbc.M404616200.

8. Von Willebrand M., Kohler K., Alanko T., Laiho M., Sakela O. FGF-2 blocks TGF- $\beta$ 1-mediated suppression of Bcl-2 in normal melanocytes. Exp Dermatol. 2005. № 14. P. 202–208. DOI:10.1111/j.0906-6705.2005.00277.x.

9. Tu L., Dewachter L., Gore B., Fadel E., Darteville P., Simonneau G., Humbert M., Eddahibi S., Guignabert C. Autocrine Fibroblast Growth Factor-2 Signaling Contributes to Altered Endothelial Phenotype in Pulmonary Hypertension. Am J. Respir Cell Mol Biol. 2011. № 45. P. 311–322. DOI: 10.1165/rmb.2010-0317OC.

10. Kim H.-R., Heo Y.-M., Jeong K.-I., Kim Y.-M., Jang H.L., Lee K.-Y., Yeo C.-Y., Kim S.H., Lee H.-K., Kim S.-R., Kim E.-G., Choi J.-K. FGF-2 inhibits TNF- $\alpha$ -mediated apoptosis through upregulation of Bcl2-A1 and Bcl-xL in ATDC5 cells. BMB Reports. 2012. № 45 (5). P. 287–292. DOI: 10.5483/BMBRep.2012.45.5.287.

11. Wang Q., Maloof P., Wang H., Fenig E., Stein D., Nichols G., Denny T.N., Yahalom J., Wieder R. Basic fibroblast growth factor downregulates Bcl-2 and promotes apoptosis in MCF-7 human breast cancer cells. Exp Cell Res. 1998. № 238 (1). P. 177–187. DOI: 10.1023/a:1006258510381.

12. Zhang, H.-Y., Phan S.H. Inhibition of myofibroblast apoptosis by transforming growth factor  $\beta$ 1. Am. J. Respir. Cell Mol. Biol. 1999. № 21. P. 658–665. DOI: 10.1165/ajrcmb.21.6.3720.

13. Milara J., Hernandez G., Ballester B., Morell A., Roger I., Montero P., Escrivá J., Lloris J.M., Molina-Molina M., Morcillo E., Cortijo J. The JAK2 pathway is activated in idiopathic pulmonary fibrosis. 2018. № 19:24. DOI: 10.1186/s12931-018-0728-9.

14. Moncsek A., Al-Suraih M.S., Trussoni C.E., P. O'Hara S., Splinter P.L., Zuber C., Patsenker E., Valli P.V., Fingas C.D., Weber A., Zhu Y., Tchkonja T., Kirkland J.L., Gores G.J., Mühlhaupt B., LaRusso N.F., Mertens J.C. Targeting senescent cholangiocytes and activated fibroblasts with Bcl-xL inhibitors ameliorates fibrosis in Mdr2<sup>-/-</sup> mice // Hepatology. 2018. № 67 (1). P. 247–259. DOI: 10.1002/hep.29464.

## СТАТЬИ

УДК 622.02

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ  
ГОРНОЙ ПОРОДЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО РЕЖИМА СВЧ-ПОЛЕЙ****<sup>1</sup>Султаналиева Р.М., <sup>1</sup>Конушбаева А.Т., <sup>2</sup>Турдубаева Ч.Б.***<sup>1</sup>Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова,  
Бишкек, e-mail: raia-ktu@mail.ru, aikat80@mail.ru;**<sup>2</sup>Политехнический колледж при КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, e-mail: myrzaika42@gmail.com*

В статье рассмотрены основные направления развития исследований в области разрушения горных пород, используемого при добыче полезных ископаемых. В технологическом процессе при подготовке горных пород к обогащению возникают проблемы разупрочнения, разрушения. Высокую эффективность разупрочнения или разрушения горных пород показали термические и низкочастотные электрофизические способы, СВЧ-облучение. Поэтому развитие метода оптимизации температурно-временного режима электромагнитного поля сверхвысоких частот при его воздействии на характеристики разрушения горных пород, позволяющего принимать рациональные технологические решения по энерго- и ресурсосбережению, является актуальной задачей. В статье приведены результаты исследований, выполненных за последнее время. Рассматривается зависимость прочностных свойств горных пород от воздействия волн сверхвысоких частот при разных температурно-временных режимах. При анализе изменения свойств пород и энергоемкости измельчения использовались методы лабораторных измерений и расчетных алгоритмов в среде Матлаб. Когда изменяется температура горных пород, под действием СВЧ-волн, возникают структурные термические напряжения на границах минеральных зерен, а также процессы, изменяющие физические свойства. Аналитически определены минимальные удельные энергоемкости горных пород при разном времени воздействия волн сверхвысоких частот. Выявлено оптимальное время воздействия волн сверхвысоких частот и температура соответствующей минимальной удельной энергоемкости разрушения для конкретных горных пород.

**Ключевые слова:** удельная энергоемкость, температурно-временной режим, оптимальное время, горная порода, минерал, разупрочнение, коэффициент крепости, СВЧ-волны, измельчение руды, прочность

**INVESTIGATION OF ENERGY-INTENSIVE ROCK DESTRUCTION EXPOSURE  
TEMPERATURE-TIME MODE MICROWAVE FIELDS****<sup>1</sup>Sultanalieva R.M., <sup>1</sup>Konushbaeva A.T., <sup>2</sup>Turdubaeva Ch.B.***<sup>1</sup>Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek,  
e-mail: raia-ktu@mail.ru, aikat80@mail.ru;**<sup>2</sup>Polytechnic College at the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov,  
Bishkek, e-mail: myrzaika42@gmail.com*

Destruction refers to the main problems of mining, indicating the possibility of mining and processing rocks, ores and minerals, building materials. In the technological process, when preparing rocks for enrichment, problems of softening and destruction arise. The technology for extracting metals and minerals from hard ores requires significant energy and material costs. To extract metals or other valuable minerals from strong polymineral rocks, complex technological work is carried out on their crushing and grinding. The technology for extracting metals and minerals from hard ores requires significant energy and material costs. To extract metals or other valuable minerals from strong polymineral rocks, complex technological work is carried out on their crushing and grinding. High efficiency of softening or destruction of rocks was shown by thermal and low-frequency electrophysical methods, microwave irradiation. Therefore, the development of a method for optimizing the temperature-time regime of an electromagnetic field of ultrahigh frequencies when it affects the rock destruction characteristics, which makes it possible to make rational technological decisions on energy and resource conservation is an urgent task. The article discusses the dependence of the strength properties of rocks on the effects of waves at high frequencies at different temperature-time regimes. To study the physicochemical properties of the studied rocks under the influence of microwave fields, methods of dynamic destruction, design and experimental studies were used. In the analysis of changes in rock properties and grinding energy intensity, laboratory measurements and calculation algorithms were used in the Matlab environment. When the temperature of rocks changes, under the influence of microwave waves, structural thermal stresses arise at the boundaries of mineral grains, as well as processes that change physical properties. The specific heat of rocks has been analytically determined for different times of exposure to waves at high frequencies. The optimal time of exposure to waves at high frequencies and the temperature corresponding to the minimum specific energy intensity of destruction for specific rocks are revealed.

**Keywords:** specific energy consumption, temperature-time regime, optimal time, rock, mineral, softening, strength coefficient, microwave waves, ore grinding, strength

Горные породы, содержащие ценные полиминералы, в основном имеют высокую прочность. Для таких горных пород использование традиционных способов измельчения приводит к существенным

потерям извлекаемых металлов, возрастанию энергетических затрат, износу металлургических частей мельниц. Способы разрушения подразделяются на механические, термические, электрофизические,

электромагнитные, термомеханические, электротермические. Все эти способы направлены на достижение наименьших значений пределов прочности обрабатываемых материалов, что облегчает последующее механическое измельчение руды до размера частиц, необходимого для дальнейшей флотации (т.е. для отделения минералов от содержащей их породы).

Применительно к разрушению и дроблению горных пород, как показали выполненные исследования, перспективны СВЧ-способы.

Под влиянием волн сверхвысоких частот на горную породу (образец горной породы), в зависимости от времени воздействия исследуемый образец поглощает энергию СВЧ-поля и эта энергия переходит в тепловую энергию. При этом температура горной породы повышается на  $dT$  [1, 2].

$$dT = \frac{Nt}{c\rho}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность породы, кг/м<sup>3</sup>;  $t$  – время воздействия поля сверхвысоких частот, мин.;  $N$  – мощность СВЧ-поля (мощность микроволновой печи) поглощаемая единицей объема породы, Вт;  $c$  – удельная теплоемкость исследуемой породы,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ .

Из формулы (1), с учетом разности температур  $dT = T_2 - T_1$  получим

$$T_2 - T_1 = \frac{Nt}{Vc\rho}, \quad (2)$$

где  $T_1$  – первоначальная температура, К;  $T_2$  – температура при исследуемой длительности нагрева ( $t, c$ ) в К;  $V$  – объем исследуемого образца породы [3, 4].

Исследуемые образцы подвергаются воздействию СВЧ-волн, при этом время облучения изменяется от 1 мин до 12 мин. В зависимости от времени облучения, температура горной породы повышается, происходит изменение удельной теплоемкости от времени воздействия СВЧ-волн. Зависимость удельной теплоемкости горных пород от продолжительности действия СВЧ-волн получена на основе экспериментальных исследований К.Т. Тажибаевым и Р.М. Султаналиевой [5].

$$C_T = C_0 + C_0 \frac{t_m R_m}{4} = C_0 \left( 1 + \frac{t_m R_m}{4} \right), \quad (3)$$

где  $C_0$  – удельная теплоемкость образца исходного состояния (начальная, для комнатной температуры),  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ;  $t_m$  – время воздействия волн сверхвысоких частот, в минутах;

$R_m$  – коэффициент размерности времени, 1/минут.

Формула (3) справедлива для температур от 0 до 1000 °С, так как выше этой температуры в горных породах возможны процессы разложения [6].

По этой формуле были определены минимальные удельные теплоемкости исследуемых горных пород в зависимости от температуры воздействия СВЧ-волн разной продолжительности.

Минимальную удельную энергоемкость разрушения руд, горных пород и минералов в зависимости от температуры воздействия СВЧ-волн, можно аналитически определить по формуле (4). Как видно из формулы, изменение удельной энергоемкости разрушения горных пород (руд) зависит от времени воздействия температуры СВЧ волн [7].

$$q_{\min} = 6ct \sigma^2 k(1 - 2\mu) / (\beta^2 TE^2), \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $c$  – минимальная удельная теплоемкость горных пород,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ;  $\sigma$  – предел прочности, Па;  $k$  – коэффициент пластичности горной породы,  $\beta$  – коэффициент объемного теплового расширения породы, 1/°С;  $E$  – модуль Юнга, Па;  $T$  – температура воздействия волн сверхвысоких частот, °С.

Цель исследования: определение оптимального времени воздействия волн сверхвысоких частот и температуры соответствующие минимальной удельной энергоемкости разрушения для горных пород.

Для научного исследования использовались материалы (образцы горных пород), отобранные из разных рудных месторождений Кыргызстана. Для исследования влияния продолжительности воздействия СВЧ-волн на энергоемкость измельчения горных пород, использован метод толчения руды. При этом величина удельной энергоемкости измельчения руды вычислялась как произведение величины энергии единичного удара на число ударов свободно падающего груза по одной измельчаемой навеске, отнесенное к объему измельченной фракции с размером менее 0,5 мм. Для исследуемых горных пород: диорита (Токтозанского месторождения) и филлита (Кумторского месторождения) определены удельные энергоемкости разрушения, в зависимости от температуры воздействия СВЧ-волн разной продолжительности. Продолжительность действия СВЧ-волн задавалась дискретно: от 1 до 9 мин. Выявлено, что разупрочнение породы происходит в течение первых трех и пяти минут облучения, а затем, при более длительном воздействии

облучения, упругие характеристики стабилизируются и горная порода упрочняется.

Минимальная энергоёмкость разрушения диорита Токтозанского месторождения с учетом следующих данных:  $V = 0,00005 \text{ м}^3$ ,  $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$ ,  $m = 0,135 \text{ кг}$ ,  $c_0 = 0,65 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $\sigma = 250 \text{ МПа}$ ,  $Y = 7,4 \text{ Па}$ ,  $\mu = 0,3$ ,  $k = 1,2$ ,  $\beta = 7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  и филлита серого Кумторского месторождения с учетом следующих данных  $c_0 = \frac{0,79 \text{ кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $V = 0,00005 \text{ м}^3$ ,  $\rho = 3000 \text{ кг/м}^3$ ,  $m = 0,15 \text{ кг}$ ,  $\sigma = 375 \text{ МПа}$ ,  $Y = 7,4 \text{ Па}$ ,  $\mu = 0,3$ ,  $k = 1,2$ ,  $\beta = 7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ , определены по формуле (4).

Температура породы для разной длительности воздействия СВЧ-волн была определена по формуле (2). Все расчетные данные и графические анализы результатов получены с помощью программы MATLAB [8].

В табл. 1 и 2 приведены результаты расчетного и экспериментального определения минимальной удельной энергоёмкости разрушения от воздействия СВЧ-волн,

разного температурно-временного режима, для диорита Токтозанского месторождения и филлита серого Кумторского месторождения. Как показывают результаты, для исследуемых образцов горных пород, результаты расчетного и экспериментального определения минимальной удельной энергоёмкости разрушения, при разных времени воздействия волн сверхвысоких частот, показывает, что отклонение расчетных данных минимальной удельной энергоёмкости измельчения от экспериментальных значений составляет в среднем 11–14%.

Из рис. 1 и 3 видно, что для диорита и филлита, когда температура облучения в пределах  $356^\circ\text{C}$  и  $566^\circ\text{C}$ , энергоёмкость разрушения исследуемых пород уменьшается, а дальнейшее увеличение времени воздействия СВЧ-волн минимальная энергоёмкость разрушения горных пород изменяется нелинейно. Минимальная энергоёмкость измельчения горных пород при температуре от  $0$  до  $300^\circ\text{C}$  (от  $273$  до  $573 \text{ К}$  от) изменяется практически по линейному закону.

**Таблица 1**

Экспериментальные и расчетные значения минимальной энергоёмкости разрушения от температуры воздействия СВЧ-волн диорита Токтозанского месторождения [9]

$t$ , мин время СВЧ-облучения	$t$ , $^\circ\text{C}$ температура нагрева породы	$c$ , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ удельная теплоёмкость	$q_{\text{min}}$ , $\text{Дж/см}^3$ минимальная энергоёмкость разрушения	
			Расчетное значение	Экспериментальное значение
1	128	0,81	67.3089	72
2	383	0,975	43.0543	45
3	566	1,14	28.2404	32
5	813	1,462	36.2856	43
7	967	1,788	56.7451	57
9	1074	2,11	57.7920	62
10	1115	2,275	62.4779	64

**Таблица 2**

Экспериментальные и расчетные значения минимальной энергоёмкости разрушения от температуры воздействия СВЧ-волн филлита серого Кумторского месторождения [9]

$t$ , мин время СВЧ-облучения	$t$ , $^\circ\text{C}$ температура нагрева породы	$c$ , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ удельная теплоёмкость	$q_{\text{min}}$ , $\text{Дж/см}^3$ минимальная энергоёмкость разрушения	
			Расчетное значение	Экспериментальное значение
1	31	0,99	79.976	85
2	222	1,18	67.643	72
3	356	1,38	58.087	63
5	533	1,78	64.453	69
6	598	1,975	68.089	74
7	649	2,17	62.154	68
9	726	2,57	61.742	67

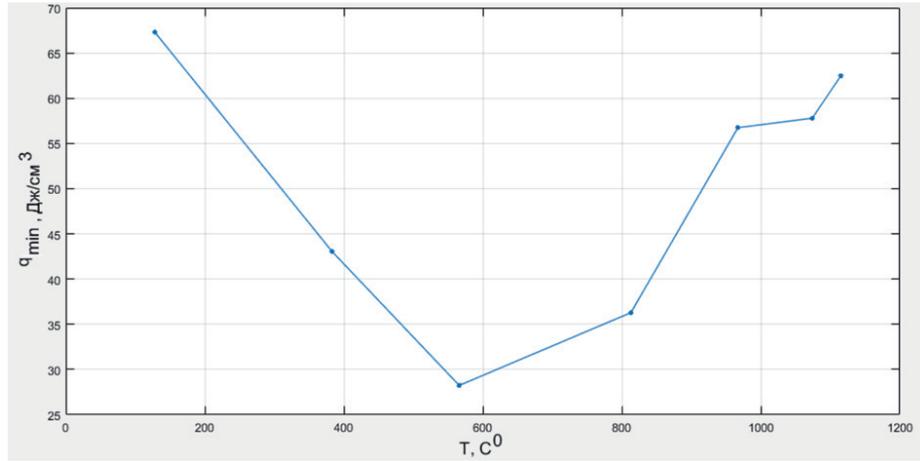


Рис. 1. Зависимость энергоемкости разрушения от температуры воздействия СВЧ-волн (диорит, Токтозан) [9]

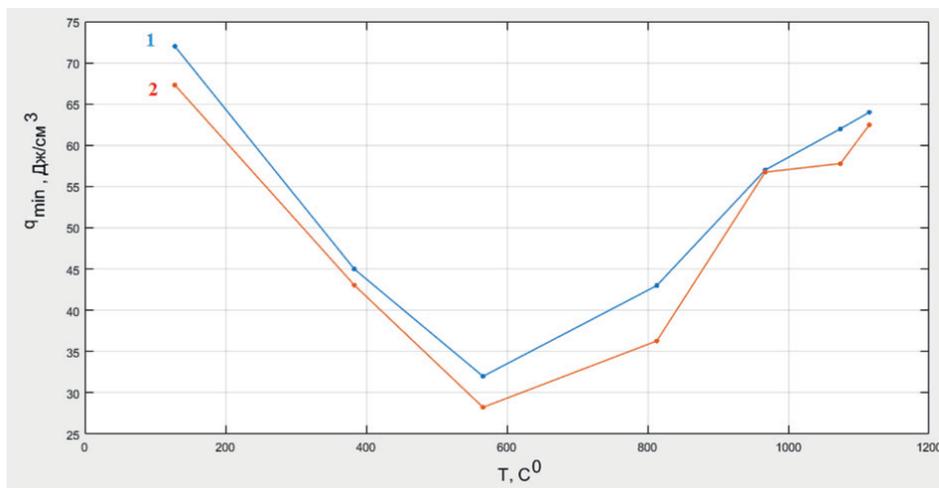


Рис. 2. Графики экспериментального – 1 и расчетного – 2 определения удельной энергоемкости разрушения диорита Токтозанского месторождения филлита Кумторского месторождения [9]

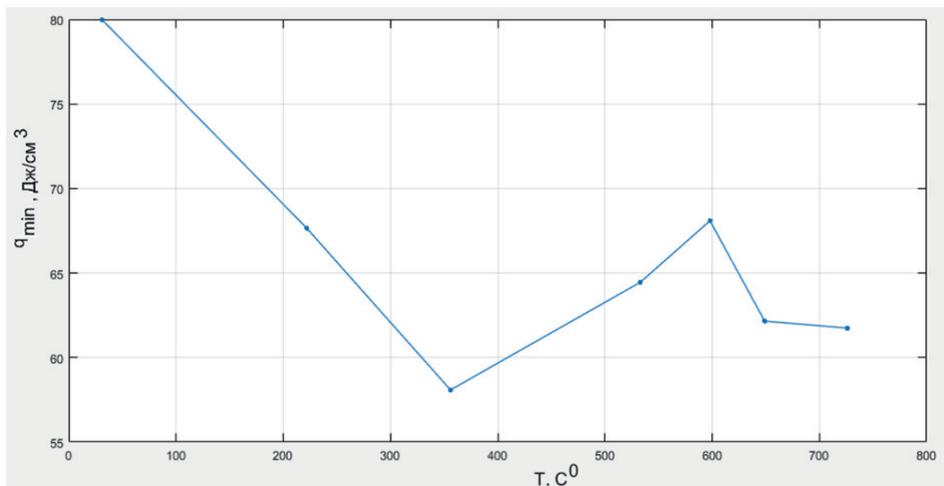


Рис. 3. Зависимость энергоемкости разрушения от температуры воздействия СВЧ-волн (филлит серый, Кумтор) [9]

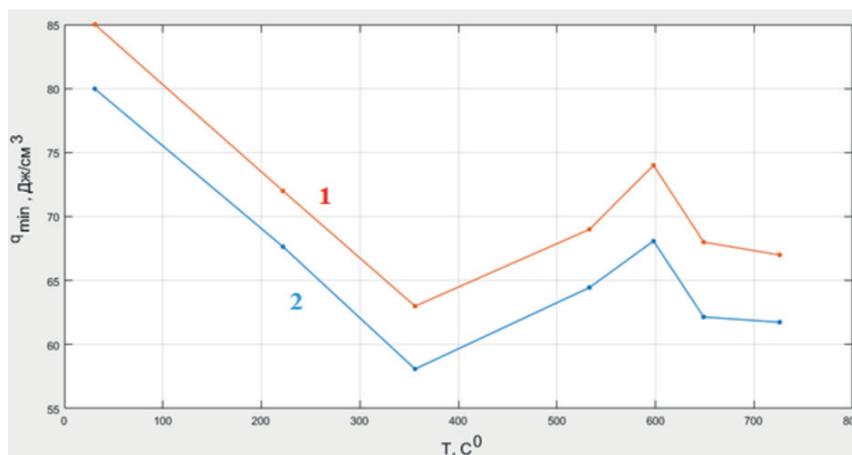


Рис. 4. Зависимость удельной энергоёмкости разрушения филлита Кумторского месторождения 1 – экспериментальный, 2 – расчетный [9]

Для диорита и филлита 3-минутное СВЧ-воздействие соответствует температуре 566 °C и 356 °C, а дальнейшее увеличение времени воздействия волн сверхвысоких частот, наоборот, приводит к увеличению энергоёмкости разрушения.

Когда время облучения составляет от трех до пяти минут, происходит неравномерное поглощение энергии СВЧ-излучения, а это приводит к изменению физико-механических свойств горной породы. Горные породы, содержащие металлы, в малом времени облучения сильно поглощают СВЧ-поле, на границах минеральных зерен возникают термомеханические напряжения и приводят к нарушению сплошности горных пород. А дальнейшее увеличение времени воздействия СВЧ-волн приводит к выравниванию градиента температуры по всему объему образца и снимается термомеханическое напряжение. Из-за этого восстанавливается крепость горных пород. Для каждой разновидности горных пород, правильный выбор температурно-временного режима нагревания с помощью СВЧ-волн приводит к разупрочнению.

Результаты расчетного и экспериментального определения минимальной удельной энергоёмкости разрушения, диорита Токтозанского месторождения и филлита Кумторского месторождения показаны на рис. 2 и 4. Достоверность полученных экспериментальных данных подтверждается также хорошей повторяемостью значений определяемых величин при испытании группы из девяти образцов.

### Выводы

1. Определена энергоёмкость разрушения диорита (Токтозанского месторождения) и филлита (Кумтор) в зависимости

от температуры при воздействии СВЧ-волн разной продолжительности. Наибольшая энергоёмкость отмечена после одной минуты облучения, когда температура диорита и филлита достигала соответственно 128 и 31 градусом по Цельсию, наименьшая – после трех минут облучения при температуре соответственно 566 и 356 градусом. Дальнейшее увеличение времени облучения приводило к увеличению температуры нагрева пород и возрастанию энергоёмкости разрушения.

2. Выявлено, что разупрочнение породы происходит в течение первых трех минут облучения, а затем, при более длительном воздействии облучения, упругие характеристики стабилизируются и возникает упрочнение породы.

### Список литературы

1. Явтушенко О.В., Коробской О.В. Исследование воздействия СВЧ-энергии на некоторые горные породы // Механика и разрушение горных пород. Ч. 4. Киев, 1976. С. 142–144.
2. Трубецкой К.И., Викторов С.Д. Физические проблемы разрушения горных пород. М., 2014. 260 с.
3. Под редакцией Э. Окресса Применение энергии СВЧ в производстве. М.: Наука, 2010. 345 с.
4. Елисеев В.В. Механика деформируемого твёрдого тела. СПб., 2006. 260 с.
5. Султаналиева Р.М. Принципы целенаправленного изменения механических свойств руд и минералов: монография. Бишкек, 2014. 153 с.
6. Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т. Определение температуры разупрочнения крепких руд от времени воздействия СВЧ-волн // Новая наука: теоретический и практический взгляд: материалы международной научно-практической конфер. Нижний Новгород, 2016. С. 21–25.
7. Горная энциклопедия. М.: Издательство «МИФ», 2010. 350 с.
8. Дьяконов В.П. MATLAB 6. Учебный курс. СПб.: Питер, 2011. С.180.
9. Конушбаева А.Т. Влияние электромагнитных полей сверхвысоких частот на характеристики разрушения крепких горных пород. автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Бишкек, 2019. 30 с.

## СТАТЬИ

УДК 615.011.4:547.583.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ «СТРУКТУРА – СВОЙСТВО» В РЯДУ АМИДОВ И ГИДРАЗИДОВ N-АРОИЛЗАМЕЩЕННЫХ ГАЛОГЕН(Н) АНТРАНИЛОВЫХ КИСЛОТ ПРИ ПОСТРОЕНИИ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МОЛЕКУЛЯРНОГО ДОКИНГА ПО ФЕРМЕНТАМ ЦИКЛООКСИГЕНАЗА 1 И 2****Андрюков К.В., Коркодинова Л.М.***ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия»**Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, e-mail: k\_andrukov@mail.ru*

Исследование взаимодействия биологически активных веществ с циклооксигеназами 1 и 2 относится к одному из направлений взаимодействия с биологическими мишенями. Данная статья посвящена использованию множественного линейного регрессионного анализа в исследовании зависимости «структура – свойство» при построении регрессионных моделей молекулярного докинга по ферментам циклооксигеназа 1 и 2 в ряду амидов и гидразидов N-ароилзамещенных галоген(Н) антралиловых кислот. Проведены квантово-химические расчёты анализируемых производных полуэмпирическим методом PM3 с использованием программы Gaussian 03. Расчёт декартовых координат проводили с использованием программы ChemAxon. Моделирование взаимодействия лигандов с рецептором осуществляли программой AutoDock 4.0 в составе программного комплекса MGL Tools 1.5.6, с использованием Ламарковского генетического алгоритма. Выполнены исследования зависимости скоринговых функций от квантово-химических параметров и структурных фрагментов на основе декартовых координат. Получены регрессионные уравнения в виде моделей «структура – свойство» проведением множественного линейного регрессионного анализа с использованием программы Statistica 6. Получено три корреляционных уравнения, связывающих скоринговые функции и структурные дескрипторы, проведена проверка с использованием коэффициента корреляции, критерия Фишера, уровня значимости и среднеквадратичной ошибки. Таким образом, полученные модели «структура – свойство» могут быть использованы для прогнозирования скоринговых функций по циклооксигеназам 1 и 2 соединений в ряду производных антралиловой кислоты, которые планируется синтезировать.

**Ключевые слова:** антралиловая кислота, структура – свойство, молекулярный докинг, квантово-химические параметры, моделирование

**INVESTIGATION OF THE «STRUCTURE – PROPERTY» DEPENDENCE IN THE SERIES OF AMIDES AND HYDRAZIDES OF N-AROYL-SUBSTITUTED HALOGEN (H) ANTHRANILIC ACIDS IN THE CONSTRUCTION OF REGRESSION MODELS OF MOLECULAR DOCKING FOR CYCLOOXYGENASE 1 AND 2 ENZYMES****Andryukov K.V., Korkodinova L.M.***Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, e-mail: k\_andrukov@mail.ru*

The study of the interaction of biologically active substances with cyclooxygenases 1 and 2 refers to one of the areas of interaction with biological targets. This article is devoted to the use of multiple linear regression analysis in the study of the structure-property dependence in the construction of molecular docking regression models for cyclooxygenase 1 and 2 in the series of amides and hydrazides of N- aroyl substituted halogen (H) anthranilic acids. Quantum-chemical calculations of the compounds under study were performed using the PM3 semi-empirical method using the Gaussian 03 program. Cartesian coordinates were obtained using the ChemAxon program. Ligand – receptor interactions were modeled using AutoDock 4.0 as part of the MGL Tools 1.5.6 software package using the Lamarckian genetic algorithm. Studies of the dependence of scoring functions on quantum chemical parameters and structural fragments based on Cartesian coordinates have been performed. The structure-property models were compiled by performing multiple linear regression analysis using the Statistica 6 program. Three correlation equations linking scoring functions and structural descriptors were compiled, a check was carried out using the correlation coefficient, Fisher criterion, significance level and standard error. Thus, the obtained structure – property models can be used to predict scoring functions for cyclooxygenases of compounds 1 and 2 in a series of anthranilic acid derivatives that are planned to be synthesized.

**Keywords:** anthranilic acid, structure-property, molecular docking, quantum-chemical parameters, modeling

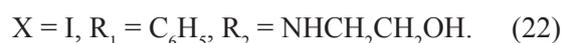
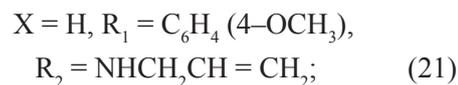
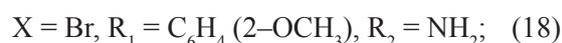
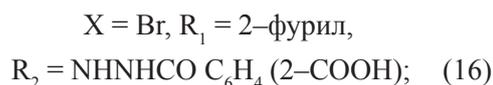
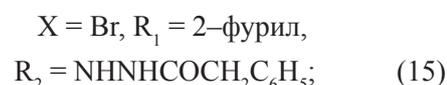
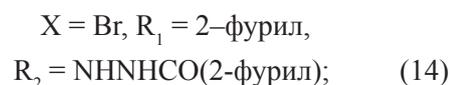
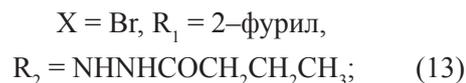
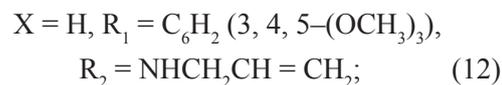
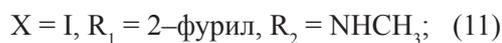
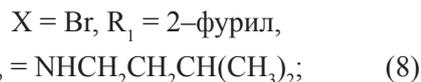
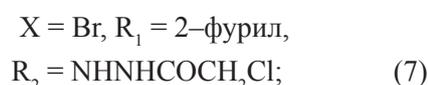
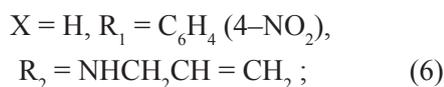
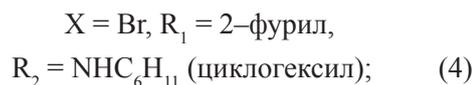
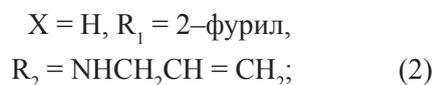
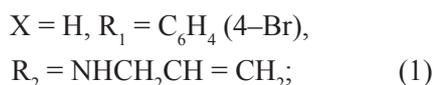
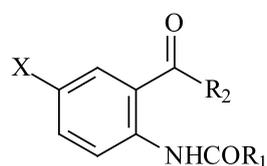
Воспаление – это патологическая реакция, возникающая в организме в ответ на повреждение, представляет собой защитный процесс, включающий в себя каскад сложных биохимических и биологических реакций, одной из ступеней которого является активация специфических

ферментов – циклооксигеназ. Фермент циклооксигеназа является мишенью соединений обладающих противовоспалительной активностью [1–3]. Анализируемыми соединениями в исследованиях количественной зависимости «структура – свойство» являются производные антралиловой кис-

лоты [4, 5]. Соединения из ряда производных антралиновой кислоты проявляют различные виды биологической активности [6], в том числе и противовоспалительной [7]. Для проведения исследований взаимодействия биологически активных соединений производных антралиновой кислоты с выбранными мишенями – циклооксигеназой 1 и 2, использовали молекулярный докинг. Экспериментальное проведение молекулярного докинга, с использованием специализированных программ, занимает длительное время. Высокопроизводительный скрининг включает в себя сокращение временных затрат, при сохранении исходной эффективности. Поэтому актуальным является создание моделей структура – свойство, позволяющих используя информацию о структуре рассчитывать скоринговые функции исследуемого ряда соединений.

Цель исследования: проведение теоретического расчёта скоринговых функций, полученных методом молекулярного докинга по циклооксигеназам (ЦОГ) 1 и 2 амидов и гидразидов N-ароил галоген(Н)антралиновых кислот с помощью количественных моделей «структура – свойство» зависимости скоринговых функций от квантово-химических и структурных дескрипторов.

Объектом исследования являются замещенные амиды и гидразиды N-ароил галоген(Н) антралиновых кислот 22 (соединения).



### Материалы и методы исследования

Проведение квантово-химических расчётов анализируемых структур лигандов и оптимизацию структуры проводили программой Gaussian 03 полуэмпирическим методом PM3. Конвертирование оптимизированных структур в 3D-формат (.pdb) выполняли с использованием ChemBio3D Ultra 12.0. Расчёт структурных дескрипторов проведен с помощью программы ChemAxon.

Моделирование взаимодействия анализируемых лигандов с рецептором проводили с использованием программы AutoDock 4.0 в составе программы MGL Tools 1.5.6, с использованием Ламарковского генетического алгоритма. При проведении молекулярного докинга были использованы трёхмерные модели молекул фермента, ин-

формация о которых получена из базы данных RCSB Protein Data Bank ЦОГ 1 (PDB ID code: 3N8X [8]) и 2 (PDB ID code: 1PXX [9]). Перед проведением молекулярного докинга были удалены молекулы воды из структуры белка. Файлы лигандов и рецептора были конвертированы в формат PDBQT-файла, с добавлением недостающих атомов водорода и частичных атомных зарядов по методу Гастейгера.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для проведения исследований «структура – свойство» с целью получения значений скоринговых функций по ЦОГ 1 и 2, выполнили моделирование взаимодействия лиганда с рецептором программой AutoDock 4.0 в составе программы MGL Tools 1.5.6.

В результате проведенного докинга по ЦОГ-1 и 2 получены скоринговые функции: энергия связывания (Binding energy ( $Be_{\text{ЦОГ1}}$  и  $Be_{\text{ЦОГ2}}$ )) и межмолекулярная энергия (Intermolecular energy ( $Ime_{\text{ЦОГ1}}$ )), характеризующие взаимодействие лиганда с рецептором (ЦОГ-1 и 2) (табл. 1).

**Таблица 1**

Значения скоринговых функций по ферментам ЦОГ 1 и 2 амидов и гидразидов N-ароил галоген (H) антралиловых кислот

№	$Be_{\text{ЦОГ1}}$	$Ime_{\text{ЦОГ1}}$	$Be_{\text{ЦОГ2}}$
1	-6,27	-7,77	-5,63
2	-7,71	-9,20	-7,79
3	-7,65	-9,15	-7,83
4	-9,08	-10,27	-9,00
5	-8,54	-10,03	-7,78
6	-2,15	-3,94	1,81
7	-7,04	-8,53	-7,35
8	-6,94	-8,73	-6,2
9	-5,56	-6,45	-5,28
10	-9,12	-10,61	-8,46
11	-6,69	-7,59	-6,12
12	-2,66	-5,05	-5,56
13	-6,41	-8,20	-6,21
14	-7,40	-8,89	-6,43
15	-3,67	-5,46	-5,73
16	-4,83	-6,92	-5,56
17	-7,48	-8,38	-7,44
18	-7,62	-8,81	-6,71
19	-7,65	-8,84	-7,59
20	-6,92	-8,11	-6,70
21	-5,34	-7,12	-6,56
22	-5,42	-7,21	-5,22

Квантово-химические дескрипторы рассчитаны программой Gaussian 03 с полной оптимизацией геометрии молекул. Для изучения зависимости  $Be_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Be_{\text{ЦОГ2}}$ ,  $Ime_{\text{ЦОГ1}}$  от структуры мы использовали суммарные значения на атомах кислорода, азота, углерода: напряженности  $\Sigma(E)$ , потенциала  $\Sigma(\phi)$  и величины заряда в модуле  $\Sigma(|q|)$  (табл. 2).

Расчёт структурных дескрипторов проведен программой ChemAxon, в результате получали файл в формате .pdb. Полученная трёхмерная структура в формате файла .pdb содержит структуру вещества в декартовых координатах, описывающих пространственную структуру молекулы соединения по осям x, y и z. Для проведения исследований «структура – свойство», рассчитаны пространственные дескрипторы, основанные на суммировании декартовых координат по осям x (Tot(X)D), y (Tot(Y)D) и z (Tot(Z)D) и по атомам C (C(X)D, C(Y)D, C(Z)D), O (O(X)D, O(Y)D, [O(Z)D), N (N(X)D, N(Y)D, N(Z)D), H (H(X)D, H(Y)D, H(Z)D) и сумма (Sum) всех Tot (Sum(Tot)D), C (Sum(C)D), O (Sum(O)D), N (Sum(N)D), H (Sum(H)D), их значений в модуле: по осям x (Tot(X)D(+)), y (Tot(Y)D(+)) и z (Tot(Z)D(+)) и по атомам C (C(X)D(+), C(Y)D(+), C(Z)D(+)), O (O(X)D(+), O(Y)D(+), O(Z)D(+)), N (N(X)D(+), N(Y)D(+), N(Z)D(+)), H (H(X)D(+), H(Y)D(+), H(Z)D(+)) и сумма (Sum) всех Tot (Sum(Tot)D(+)), C (Sum(C)D(+)), O (Sum(O)D(+)), N (Sum(N)D(+)), H (Sum(H)D(+)) (табл. 2).

С целью составления количественной модели «структура – свойство», проведен множественный линейный регрессионный анализ с помощью Statistica 6, зависимости  $Be_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Be_{\text{ЦОГ2}}$ ,  $Ime_{\text{ЦОГ1}}$  от квантово-химических и структурных дескрипторов.

В результате проведенного анализа найдено свыше 69 уравнений множественной регрессии, из которых были отобраны 3 наиболее значимых уравнения 1–3 (табл. 3) зависимости  $Be_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Be_{\text{ЦОГ2}}$ ,  $Ime_{\text{ЦОГ1}}$  от квантово-химических и структурных дескрипторов.

Установлено, что найденные уравнения имеют наибольшие значения коэффициента корреляции (R), критерия Фишера (F) и минимальные значения среднеквадратичной ошибки (S) и уровня значимости p не превышающего 0,05 (табл. 3).

### Заключение

Выполнены исследования взаимодействия анализируемых производных с ЦОГ 1 и 2 методом молекулярного докинга, в результате получены скоринговые функции  $Be_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Be_{\text{ЦОГ2}}$ ,  $Ime_{\text{ЦОГ1}}$ .

Таблица 2

Квантово-химические и структурные дескрипторы амидов и гидразидов N-ароил галоген (H)антраниловых кислот для исследования «структура – свойство» в прогнозировании  $Ve_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Ime_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Ve_{\text{ЦОГ2}}$

№	O( q )	C(X)D	O(X)D	H(Z)D	Sum(O)D	C(Y)D(+)	Sum(C)D	H(X)D	Sum(C)D(+)
1	0,713	-27,14	-2,86	2,58	-9,72	38,68	-49,99	-23,42	111,03
2	0,788	-6,28	-1,82	-9,13	-5,82	35,70	-23,65	-5,02	103,59
3	1,335	-20,75	-5,05	23,51	3,81	39,39	26,55	-10,04	106,79
4	0,720	7,06	-1,86	-6,15	-1,70	42,96	0,44	10,35	121,88
5	0,721	-1,04	-1,85	32,66	8,65	42,12	18,54	-6,59	156,36
6	1,901	-34,22	1,48	15,97	-12,68	38,16	-86,60	-43,96	96,69
7	1,011	12,32	1,20	-16,24	-8,21	42,97	-33,98	14,62	114,67
8	0,719	12,40	-2,09	8,46	0,61	53,22	42,11	19,14	140,97
9	0,716	-0,30	-1,76	-9,15	-2,68	35,78	0,79	4,53	94,26
10	0,720	-1,15	-1,84	32,64	8,67	42,00	18,75	-6,50	156,20
11	0,784	-0,20	-1,76	-9,12	-2,70	35,90	0,57	4,44	94,42
12	1,245	-70,99	-11,71	-49,04	-42,11	36,89	-169,49	-77,57	113,17
13	1,018	28,82	1,14	20,06	0,21	64,92	5,54	25,40	168,27
14	1,064	16,85	0,92	-17,54	-8,20	38,56	-23,55	21,00	107,79
15	1,028	12,11	1,07	24,55	3,16	49,49	-3,95	4,93	175,97
16	1,744	25,76	0,26	-9,83	-6,10	37,77	-14,05	23,63	129,54
17	0,703	1,04	-1,60	-14,36	-4,87	37,61	-13,07	2,86	103,36
18	0,897	0,44	0,42	-8,19	-3,59	43,40	-26,46	23,85	115,64
19	1,905	-24,32	-9,64	-1,41	-5,82	49,24	-50,55	-32,06	106,79
20	0,690	15,32	0,93	-24,25	-6,96	42,01	-34,51	17,16	109,86
21	0,905	-8,19	-0,24	-12,43	-8,71	50,71	-41,45	-5,45	159,46
22	0,975	-1,98	-2,80	20,67	-3,45	44,79	-7,94	-3,34	122,26

Таблица 3

Уравнения регрессии связи  $Ve_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Ime_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Ve_{\text{ЦОГ2}}$  с квантово-химическими параметрами и структурными дескрипторами амидов и гидразидов N-ароил галоген(H)антраниловых кислот

№	Уравнение регрессии	R	F	S	p	N
1	$Ve_{\text{ЦОГ1расч.}} 1 = -6,1980 - 0,3231 \times \text{Sum(O)D} - 0,3231 \times \text{H(Z)D} + 0,0455 \times \text{C(X)D} - 0,0395 \times \text{C(Y)D}(+)$	0,787	6,92	1,28	0,00169	22
2	$Ime_{\text{ЦОГ1расч.}} 2 = -9,0519 + 0,0306 \times \text{Sum(C)D} + 0,4080 \times \text{O(X)D} - 0,0545 \times \text{H(X)D} - 0,1840 \times \text{Sum(O)D} + 1,4376 \times \text{O}( q )$	0,799	5,65	1,15	0,00344	22
3	$Ve_{\text{ЦОГ2расч.}} 3 = -2,3365 - 0,00274 \times \text{Sum(C)D} + 0,4212 \times \text{O(X)D} + 0,1222 \times \text{H(Z)D} - 0,2862 \times \text{Sum(O)D} - 0,0379 \times \text{Sum(C)D}(+) + 0,0023 \times \text{C(X)D}$	0,874	8,10	1,20	0,00050	22

Рассчитаны квантово-химические и структурные дескрипторы для проведения множественного линейного регрессионного анализа с использованием программы Statistica 6. По результатам проведенного анализа выбраны дескрипторы с высоким коэффициентом корреляции по отношению к исследуемым скоринговым функциям ( $Ve_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Ve_{\text{ЦОГ2}}$ ,  $Ime_{\text{ЦОГ1}}$ ): O(|q|), C(X)D, O(X)D, H(Z)D, Sum(O)D, C(Y)D(+), Sum(C)D, H(X)D, Sum(C)D(+).

Получены уравнения регрессии с использованием множественного линейного регрессионного анализа программой Statistica 6, зависимости  $Ve_{\text{ЦОГ1}}$ ,  $Ve_{\text{ЦОГ2}}$ ,  $Ime_{\text{ЦОГ1}}$  от квантово-химических и структурных дескрипторов, в результате получены три модели в виде уравнений 1–3.

Значимость составленных уравнений зависимости «структура – свойство» была доказана с использованием критерия Фишера и вычисленного значения p, при  $\alpha = 0,05$ .

Вычисленные значения  $p$  для всех трёх уравнений не превышают уровень значимости  $\alpha = 0,05$ .

Таким образом, полученные модели «структура – свойство» могут быть использованы для моделирования молекулярного докинга по ЦОГ 1 и 2, прогнозированием скоринговых функций соединений производных антралиновой кислоты, которые планируется синтезировать.

### Список литературы

1. Bouaziz-Terrachet S., Toumi-Maouche A., Maouche B., Tairi-Kellou S. Modeling the binding modes of stilbene analogs to cyclooxygenase-2: a molecular docking study. *J. Mol. Model.* 2010. Vol. 16. No. 12. P. 1919–1929.
2. Smith W.L., Malkowski M.G. Interactions of fatty acids, nonsteroidal anti-inflammatory drugs, and coxibs with the catalytic and allosteric subunits of cyclooxygenases-1 and -2. *J. Biol. Chem.* 2019. Vol. 294. No. 5. P. 1697–1705.
3. Design, synthesis, anti-inflammatory antitumor activities, molecular modeling and molecular dynamics simulations of potential naprosyn analogs as COX-1 and/or COX-2 inhibitors. *Bioorganic Chemistry.* 2018. Vol. 76. P. 188–201.
4. Svechnikova O.M., Kolisnyk S.V., Vinnyk O.F., Kostina T.A., Zhukova T.V. The molecular design of biologically active derivatives of N-phenylanthranilic acid. *Zurnal organičnoї ta farmacevtičnoї himiї.* 2018. Vol. 16. No. 1(61). P. 49–53.
5. Meenu Beniwal, Viney Lather, Vikramjeet Judge, Neelam Jain, Amit Beniwal. Anti-inflammatory, antimicrobial activity and qsar studies of anthranilic acid derivatives. *World journal of pharmacy and pharmaceutical sciences.* 2015. Vol. 4. No. 09. P. 1443–1451.
6. Kuldeep Mahiwal, Pradeep Kumar, Balasubramanian Narasimhan. Synthesis, antimicrobial evaluation, ot-QSAR and mt-QSAR studies of 2-amino benzoic acid derivatives. *Medicinal Chemistry Research.* 2012. Vol. 21. No. 3. P. 293–307.
7. Андрюков К.В., Коркодинова Л.М. Молекулярный докинг в изучении взаимодействия амидов и гидразидов N-ароилзамещенных галоген(Н)антралиновых кислот с циклооксигеназой 1, проявляющих противовоспалительную активность // *Химико-фармацевтический журнал.* 2018. Т. 52. № 5. С. 29–32.
8. Sidhu R.S., Lee J.Y., Yuan C., Smith W.L. Comparison of cyclooxygenase-1 crystal structures: cross-talk between monomers comprising cyclooxygenase-1 homodimers. *Journal Biochemistry.* 2010. Vol. 49. P. 7069–7079.
9. Rowlinson W.S., Kiefer J.R., Prusakiewicz J.J., Pawlitz J.L., Kozak K.R., Kalgutkar A.S. A novel mechanism of cyclooxygenase-2 inhibition involving interactions with Ser-530 and Tyr-385. *J. Biol. Chem.* 2003. Vol. 278. P. 45763–45769.

УДК 616.348-002-07:[616.155.33+616.155.34]

## ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕЙТРОФИЛОВ И МОНОЦИТОВ КРОВИ КАК МАРКЕР ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЯЗВЕННОГО КОЛИТА И БОЛЕЗНИ КРОНА

Емельянова В.А., Демидов А.А., Шварц Р.Н.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России, Астрахань, e-mail: sapienti\_sa@mail.ru

Цель: оценить информативность определения активности окислительно-восстановительных ферментов нейтрофилов и моноцитов периферической крови как дополнительный критерий дифференциальной диагностики между язвенным колитом и болезнью Крона. У пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника (ВЗК) проводилось цитохимическое исследование активности ферментов нейтрофилов и моноцитов: сукцинатдегидрогеназы (СДГ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г-6-ФДГ) при госпитализации в стационар. Методом регрессионного анализа рассчитывался риск развития язвенного колита (ЯК) и болезни Крона (БК) в зависимости от активности вышеуказанных ферментов. Было составлено уравнение регрессии. Риск развития ЯК и БК у пациентов с недифференцированным колитом =  $1,326496 - 0,070957 \times \text{ЛДГ нейтр.} - 0,0226006 \times \text{Г-6-ФДГ нейтр.} + 0,472551 \times \text{ЛДГ моноц.} + 0,2444059 \times \text{Г-6-ФДГ моноц.}$  При значении коэффициента от  $-2,78$  до  $7,12$  прогнозируют вероятность развития язвенного колита; при значении от  $170,58$  до  $182,46$  – вероятность развития болезни Крона. Результаты указывают на значимую роль определения цитохимической активности нейтрофилов и моноцитов у пациентов с ВЗК для прогнозирования развития язвенного колита и болезни Крона у пациентов с недифференцированным воспалительным заболеванием кишечника.

**Ключевые слова:** язвенный колит, болезнь Крона, нейтрофилы, моноциты, цитохимия, регрессионный анализ

## THE ENZYMATIC ACTIVITY OF NEUTROPHILS AND MONOCYTES BLOOD AS A MARKER FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF ULCERATIVE COLITIS AND CROHN'S DISEASE

Emelyanova V.A., Demidov A.A., Schwarts R.N.

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, e-mail: sapienti\_sa@mail.ru

Goal: evaluation the information content of determining the activity of redox enzymes of neutrophils and monocytes blood as an additional criterion for the differential diagnosis between ulcerative colitis and Crohn's disease. In patients with inflammatory bowel disease (IBD), a cytochemical study was conducted of the activity of neutrophil and monocyte enzymes: succinate dehydrogenase (LDH), lactate dehydrogenase (LDH), glucose-6-phosphate dehydrogenase (G-6-FDH) during hospitalization. The method of regression analysis calculated the risk of ulcerative colitis (UC) and Crohn's disease (CD), depending on the activity of the above enzymes. A regression equation was compiled. The risk of developing UC and CD in patients with undifferentiated colitis =  $1.326496 - 0.070957 \times \text{LDH neutr.} - 0.0226006 \times \text{G-6-FDH neutr.} + 0.472551 \times \text{LDH monoc.} + 0.2444059 \times \text{G-6-FDH monoc.}$  If the coefficient value is from  $-2.78$  to  $7.12$ , the probability of ulcerative colitis is predicted; with a value from  $170.58$  to  $182.46$  – the likelihood of developing Crohn's disease. The results indicate a significant role in determining the cytochemical activity of neutrophils and monocytes in patients with IBD to predict the development of ulcerative colitis and Crohn's disease in patients with undifferentiated inflammatory bowel disease.

**Keywords:** ulcerative colitis, Crohn's disease, neutrophils, monocytes, cytochemistry, regression analysis

Воспалительные заболевания кишечника (ВЗК), а именно язвенный колит (ЯК) и болезнь Крона (БК), являются прогрессирующим иммунным воспалением желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). ЯК поражает только толстый кишечник и характер поражения поверхностный, в то время как при болезни Крона поражение трансмуральное и может затронуть любой отдел ЖКТ [1].

Важными элементами воспаления в кишечной стенке являются лимфоциты, нейтрофилы и мононуклеары, которые обильно инфильтрируют последнюю, продуцируя большое количество провоспалительных интерлейкинов, свободных радикалов и активных форм кислорода. Также нейтрофилы, и в меньшей степени моноциты,

способны продуцировать кальпротектин, обнаружение которого в кале на данный момент рассматривается как биомаркер, отражающий активность воспаления в кишечнике и весьма специфичен для язвенного колита и болезни Крона [2].

В развитии воспалительной реакции при ВЗК немалое значение имеют В-лимфоциты, синтезирующие специфические антитела к перинуклеарным нейтрофильным антигенам (pANCA), которые чаще всего выявляются при ЯК, и мана-новому полисахариду клеточной стенки *Saccharomyces cerevisiae* (ASCA), чаще ассоциированные с БК [3, 4].

Обнаружение антител для проведения дифференциальной диагностики между ЯК

и БК недостаточно чувствительный и специфичный метод, а также весьма дорогостоящий. Определение кальпротектина, как в кале, так и в сыворотке крови, несмотря на высокую чувствительность метода, как маркера активности воспаления, оценки эффективности проводимой терапии, не позволяет провести дифференциальную диагностику между ЯК и БК.

Изучению цитохимической активности нейтрофилов и моноцитов крови у пациентов терапевтического профиля посвящены единичные работы, что определяет актуальность нашего исследования [5–7].

Цель исследования: оценить информативность определения активности окислительно-восстановительных ферментов нейтрофилов и моноцитов периферической крови, как дополнительный критерий дифференциальной диагностики между язвенным колитом и болезнью Крона.

#### Материалы и методы исследования

В условиях гастроэнтерологического отделения ГБУЗ АО «Александро-Маринская областная клиническая больница» было обследовано 69 пациентов с ВЗК в возрасте от 20 до 65 лет: с ЯК 49 человек и 20 человек с БК (55 % женщин, 45 % мужчин в обеих группах).

Критериями включения в исследование послужили следующие параметры: наличие диагноза «язвенный колит», «болезнь Крона», возраст от 20 до 65 лет.

Критериями исключения явились: злокачественные новообразования, заболевания системы крови, острые бактериальные и вирусные инфекции, возраст старше 65 лет.

Диагноз установлен согласно клиническим рекомендациям Российской гастроэнтерологической ассоциации и ассоциации колопроктологов России.

При поступлении в стационар 26 пациентов с ЯК и все пациенты с БК уже принимали базисную противовоспалительную терапию (5-аминосалициловая кислота, глюкокортикостероиды, азатиоприн), 23 пациента с ЯК подобную терапию не получали.

В контрольную группу вошли 35 здоровых доноров. Средний возраст женщин с ВЗК 44,1 (мин. 31, макс. 54 лет), мужчин 43,3 (мин. 20, макс. 62 лет).

По локализации воспалительного процесса у 65 % пациентов с ЯК левосторонний колит, 16,7 % – тотальный колит. Среди пациентов с болезнью Крона чаще всего обнаруживался терминальный илеит – 10,0 %, илеоколит был выставлен у 8,3 %. По характеру течения заболевания у 73,3 % пациентов с ЯК и всех пациентов с БК наблюдалось хроническое рецидивирующее, у 5 % и 3,3 %

пациентов с ЯК – хроническое непрерывное и острое течение соответственно. У 59,2 % пациентов с ЯК диагностирована средняя степень тяжести атаки заболевания, у 20,4 % пациентов лёгкая и у такого же количества пациентов тяжёлая степень тяжести по критерию Truelove-Witts. У 11 пациентов (55 %) тяжесть атаки БК была расценена как лёгкая, что соответствовало индексу Беста в диапазоне 150–300 баллов, у 9 пациентов (45 %) выставлена среднетяжёлая атака с индексом Беста в пределах 301–450 баллов.

Системные проявления ВЗК среди пациентов встречались со следующей частотой: у всех пациентов был выявлен синдром эндотоксемии, метаболические расстройства – у 20,4 % пациентов, артрит диагностирован у 18,4 % пациентов, узловая эритема – у 22,4 %.

Цитохимические исследования проводились как при поступлении в стационар, так и по выписке. В венозной крови определялась активность метаболических ферментов нейтрофилов и моноцитов, а именно сукцинатдегидрогеназы (СДГ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г-6-ФДГ) [8]. Для исследования дегидрогеназной активности нейтрофилов и моноцитов использовался метод Р.П. Нарциссова (1970), выделение моноцитов осуществлялось методикой И.С. Фрейдлин (1978).

Для более объективной оценки результатов цитохимических реакций нами применен метод полуколичественной оценки Карлов [9] с определением среднего цитохимического показателя (СЦП), который является показателем активности реакции в условных единицах. Согласно этому методу, в специально окрашенном препарате крови подсчитывают 100 клеток и разделяют их на группы в зависимости от интенсивности окраски цитоплазмы или количества содержащегося в них цитохимически активного вещества.

– 0 – нулевая группа, цитоплазма не окрашена, гранул нет;

– 1 степень (низкая, степень «а») – в цитоплазме единичные гранулы или слабое диффузное окрашивание;

– 2 степень (средняя, степень «б») – 30–70 % цитоплазмы заполнено гранулами, диффузная окраска почти всей цитоплазмы;

– 3 степень (высокая, степень «в») – 70–100 % цитоплазмы заполнено гранулами, выраженное окрашивание цитоплазмы.

Средний цитохимический показатель (СЦП) рассчитывали путем подсчета 100 клеток (нейтрофилов или моноцитов) в мазке крови, используя формулу:  $СЦП = a + 2b + 3v$  (усл. ед.).

Для обработки полученных данных использовался пакет программ Статистика 8. Достоверность полученных величин определяли с помощью критерия  $\chi^2$ . Достоверными считали различия при  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно полученным результатам, статистически значимых различий между активностью окислительно-восстановительных ферментов нейтрофилов и моноцитов пациентов, находящихся на базисной противовоспалительной терапии, и пациентов, не получавших таковую терапию на момент госпитализации в стационар, не обнаружено, поэтому далее мы приведем средние значения. Отсутствие различий объясняется малой продолжительностью предшествующей госпитализации терапии (1–2 месяца).

При поступлении в стационар активность СДГ нейтрофилов пациентов с ЯК превышала норму в 7 раз и составила  $108 \pm 0,02$  у.е. (норма СДГ  $15,04 \pm 0,02$  у.е.). Активность ЛДГ составила  $116 \pm 0,02$  у.е. (норма ЛДГ  $15,04 \pm 0,02$  у.е.), что превышало нормальные значения также более чем в 7 раз. СЦП активности Г-6-ФДГ при норме  $15,04 \pm 0,02$  у.е. составила  $152 \pm 0,02$  у.е., это превышение нормы в 10 раз. Реагирующие клетки по всем трем ферментам были представлены клетками степени «б».

В отношении моноцитов обнаружилась следующая тенденция. Активность СДГ моноцитов составила  $76,02 \pm 0,01$  у.е. (норма СДГ  $20,02 \pm 0,01$  у.е.), ЛДГ –  $56,02 \pm 0,04$  у.е. (норма ЛДГ  $15,16 \pm 0,04$  у.е.), что превысило нормальные значения более чем в 3 раза. Средний цитохимический показатель активности Г-6-ФДГ составил  $67 \pm 0,04$  у.е. при норме  $15,60 \pm 0,04$  у.е. (превышение нормы в 4 раза). Качественный состав реагирующих моноцитов по всем трем ферментам был представлен клетками степени «а» и в меньшей степени «б».

У пациентов с БК мы получали следующие результаты.

При госпитализации в гастроэнтерологическое отделение активность СДГ нейтрофилов составила  $92 \pm 0,02$  у.е. при норме СДГ  $15,04 \pm 0,02$  у.е. (превышение нормы в 6 раз). Активность ЛДГ и Г-6-ФДГ составила  $67 \pm 0,02$  у.е. и  $71 \pm 0,02$  у.е. соответственно (норма  $15,04 \pm 0,02$  у.е.), что превысило нормальные показатели в 4 раза. По всем трем ферментам клетки были 1 степени активности.

Далее мы выявили корреляционные связи средней и высокой силы между активностью ВЗК, клинико-лабораторными показателями и активностью окислительно-

восстановительных ферментов нейтрофилов и моноцитов.

У пациентов с ЯК обнаружена сильная положительная корреляционная связь между частотой стула и всеми исследуемыми ферментами нейтрофилов и моноцитов (в среднем  $r = 0,8$ ), температурой тела (в среднем  $r = 0,72$ ) и уровнем СОЭ (в среднем  $r = 0,75$ ). Отрицательная сильная корреляция выявлена между показателем гемоглобина и всеми указанными выше ферментами (в среднем  $r = -0,73$ ), т.е. чем выше активность ферментов, тем выраженной анемия.

У пациентов с БК выявлена положительная сильная корреляция между величиной индекса Беста и активностью ферментов нейтрофилов и моноцитов крови и величиной индекса Беста (в среднем  $r = 0,75$ ). Таким образом, чем выше индекс Беста, отражающий активность заболевания, тем выше активность СДГ, ЛДГ и Г-6-ФДГ нейтрофилов и моноцитов крови.

Обнаружена сильная положительная корреляция между активностью вышеперечисленных ферментов нейтрофилов и моноцитов и уровнем СОЭ (в среднем  $r = 0,80$ ), лейкоцитами (в среднем  $r = 0,75$ ), уровнем СРБ (в среднем  $r = 0,81$ ), отрицательная корреляция средней силы между вышеперечисленными ферментами и уровнем общего белка крови (в среднем  $r = -0,73$ ).

Далее мы прибегли к регрессионному анализу для оценки риска развития ЯК и БК в зависимости от активности СДГ, ЛДГ, Г-6-ФДГ нейтрофилов и моноцитов крови. Этот метод позволяет установить возможную зависимость критерияльной, т.е. зависимой переменной (в нашем случае показатель, отражающий основную желудочно-кишечную нозологию) от нескольких предикторов, т.е. независимых переменных (СДГ, ЛДГ, Г-6-ФДГ нейтрофилов и моноцитов крови).

Бета-коэффициенты отражают вклад каждого предиктора в предсказание отклика. СДГ нейтрофилов и моноцитов не вносит вклад в развитие ЯК и БК, поскольку для этих показателей уровень значимости:  $p > 0,005$  (таблица).

Бета-коэффициент указывает, насколько увеличивается значение зависимой переменной при увеличении независимой на единицу. Положительный знак коэффициента означает, что с нарастанием уровня ЛДГ и Г-6-ФДГ моноцитов увеличивается вероятность развития болезни Крона (ухудшается прогноз в отношении ВЗК – от язвенного колита к болезни Крона). Отрицательный знак коэффициента означает, что с увеличением активности ЛДГ, Г-6-ФДГ нейтрофилов увеличивается вероятность развития язвенного колита.

## Регрессионные коэффициенты

n = 69	Бета	Стандартная ошибка Бета	B	Стандартная ошибка B	t	Уровень значимости P
Свободный член			1,326496	0,020264	64,46187	0,000001
ЛДГ нейтрофилов	-0,070957	0,014119	-0,001488	0,000296	-5,02550	0,000004
Г-6-ФДГ нейтрофилов	-0,226006	0,024985	-0,002889	0,000319	-9,04551	<0,000001
ЛДГ моноцитов	0,472551	0,054018	0,002116	0,000242	8,74807	<0,000001
Г-6-ФДГ моноцитов	0,244459	0,051764	0,001208	0,000256	4,72259	0,000012

Построенное уравнение регрессии имеет вид:

$$\begin{aligned} & \text{Риск развития ЯК и БК у пациентов} \\ & \text{с недифференцированным колитом} = \\ & = 1,326496 - 0,070957 \times \text{ЛДГ нейтр.} - \\ & - 0,226006 \times \text{Г-6-ФДГ нейтр.} + 0,472551 \times \\ & \times \text{ЛДГ моноц.} + 0,2444059 \times \text{Г-6-ФДГ моноц.,} \end{aligned}$$

где ЛДГ, Г-6-ФДГ нейтрофилов и моноцитов – цифровое выражение количественной оценки активности соответствующих ферментов.

При значении коэффициента от -2,78 до 7,12 прогнозируют вероятность развития язвенного колита; при значении от 170,58 до 182,46 – прогнозируют вероятность развития болезни Крона.

Чтобы проанализировать, адекватна ли построенная модель линейной регрессии, исследуют регрессионные остатки. Если регрессионная модель хорошо описывает истинные данные, регрессионные остатки должны быть независимыми нормально распределенными случайными величинами с нулевым средним. В нашем исследовании анализ регрессионных остатков соответствует вышеуказанному требованию, что делает нашу модель адекватной.

Таким образом, при наличии затруднений в постановке диагноза возможно использовать рассчитанное нами уравнение регрессии в качестве дополнительного диагностического критерия для верификации ЯК или БК, что позволит максимально рано

назначить специфическую терапию, снизить инвалидизацию и улучшить качество жизни пациентов.

## Список литературы

1. Owczarek D., Cibor D., Gtowacki M., Rodacki T., Mach T. Inflammatory bowel disease: epidemiology, pathology and risk factors for hypercoagulability. *World J. Gastroenterol.* 2014. vol. 20. no. 1. P. 33–63.
2. Сагынбаева В.Э., Лазебник Л.Б. Сывороточный кальпротектин является маркером для определения активности воспалительного процесса и эффективности терапии при воспалительных заболеваниях кишечника // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология.* 2014. Т. 107. № 7. С. 25–31.
3. Барановский А.Ю., Кондрашина Э.А., Харитонов А.Г. Прогноз неблагоприятного течения язвенного колита как показание к проведению антицитокиновой терапии // *РЖГГК.* 2012. № 2. С. 63–69.
4. Румянцев В.Г. Язвенный колит: руководство для врачей. М.: Медицинское информационное агентство, 2009. 424 с.
5. Ключникова О.А. Функциональная активность нейтрофилов периферической крови и воспалительная реакция в слизистой оболочке у больных язвенным колитом // *X итоговая научная конференция молодых учёных и студентов: тез. докл. Ставрополь, 2002.* С. 204.
6. Заводовский Б.В. Клинико-патогенетическое значение исследования метаболизма иммунокомпетентных клеток периферической крови при воспалительных ревматических заболеваниях: дис. ... докт. мед. наук. Волгоград, 2004. 322 с.
7. Черняев А.А., Демидов А.А., Чернышева Е.Н. Цитохимическая активность нейтрофилов и моноцитов крови у больных метаболическим синдромом // *Современные проблемы науки и образования.* 2015. № 1–1. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=18201> (дата обращения: 24.12.2019).
8. Расщепкина Н.И., Григанов В.И. Дегидрогеназная активность нейтрофилов крови у часто болеющих детей // *Молодой ученый.* 2011. Т. 2. № 7. С. 131–132.
9. Меньшиков В.В. Лабораторные методы исследования в клинике: Справочник. М.: Медицина, 1987. 368 с.

## ОБЗОРЫ

УДК 616.853

**ЭПИЛЕПСИЯ: РИСКИ ДЛЯ БЕРЕМЕННОЙ И ПЛОДА****Шаталов А.Е., Петров Ю.А., Купина А.Д.***ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет»**Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ростов-на-Дону, e-mail: shatal321@mail.ru*

Эпилепсия является одним из самых распространенных заболеваний в современном мире и в клинике нервных болезней. Упоминания об эпилепсии встречаются уже в древних источниках. Эпилепсия (от латинского «схватывание») – является гетерогенной хронической патологией, заключающейся в повторяющихся эпизодах активации нейронов мозга, которые неподвластны контролю со стороны центральной нервной системы, что проявляется в виде повторяющихся не провоцируемых приступами выпадений двигательных, вегетативных, чувствительных, а также мыслительных или психических функций. Эпилепсия считается полиэтиологичным заболеванием, вследствие этого невозможно выделить ведущую причину. Касаясь эпилепсии в отношении женского организма и возможности реализации женщиной своей детородной функции, необходимо отметить, что все чаще в практику внедряются различные методики по осуществлению данной функции. Самым сложным контингентом женщин с данной патологией являются беременные и роженицы, так как они более подвержены воздействию различных пагубных потенциалов. Некоторые ученые говорят об улучшении основного заболевания в период беременности, некоторые говорят об обратном, уверяя, что беременность отрицательно сказывается на эпилептическом процессе. Лечение эпилепсии у женщин крайне актуальная и сложная проблема.

**Ключевые слова:** эпилепсия, женщины, антиэпилептическая терапия, ведение беременности, побочные эффекты

**EPILEPSY: RISKS TO THE PREGNANT WOMAN AND THE FETUS****Shatalov A.E., Petrov Yu.A., Kupina A.D.***Rostov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don,**e-mail: shatal321@mail.ru*

Epilepsy is one of the most common diseases in the modern world and in the clinic of nervous diseases. Mention of epilepsy has been noted since ancient times. Epilepsy (from the Latin grasp) – is a heterogeneous chronic pathology, consisting in repeated episodes of activation of neurons in the brain, which are beyond the control of the Central nervous system, which manifests itself in the form of repeated non-provoked attacks of loss of motor, vegetative, sensitive, as well as mental or mental functions. Epilepsy is considered a polyethylene disease, therefore it is not possible to identify the leading. With regard to epilepsy in relation to the female body and the possibility of a woman to realize her childbearing function, it should be noted that more and more often in practice are introduced various methods for the implementation of this function. The most difficult contingent of women with this disease are pregnant women and new mothers, since they are more exposed to various harmful potentials. Some scientists talk about improving the underlying disease during pregnancy, some say the opposite, assuring that pregnancy adversely affects the epileptic process. In women, the treatment of epilepsy is an extremely urgent and complex problem.

**Keywords:** epilepsy, women, antiepileptic pharmacotherapy, pregnancy conducting, side effect

Актуальность темы: влияние эпилепсии на фертильность женщины обуславливается тем, что количество родоразрешений беременных с данным заболеванием с каждым годом увеличивается, однако остаются нерешенными задачи максимально оградить от пагубного воздействия лечения организм ребенка и матери. Эпилепсия и препараты, применяемые для ее лечения, могут приводить к нарушению менструального цикла, а также стать причиной невынашивания беременности.

Цель работы: анализ источников литературы, посвященных современным представлениям о влиянии эпилепсии на репродуктивное здоровье и фертильность женщин. Раскрытие роли неврологических нарушений в возникновении гинекологических заболеваний и бесплодия у пациенток.

Эпилепсия является крайне актуальным заболеванием, так как на сегодняшний день в неврологической практике имеет высокую частоту встречаемости. Еще в древнегреческих мифах, а также священных книгах писали об эпилепсии. В то далекое время клиническая картина заболевания вызывала у людей настороженность и опасения. В некоторых странах присутствовали исключения, когда, например, больных эпилепсией считали святыми людьми, но гораздо чаще это вызывало ассоциации с паранормальными явлениями. У некоторых групп людей такие представления о болезни и по сей день, в результате далеко не все позволяют себе придать огласке наличие такого серьезного заболевания. Больше чем в половине случаев первичные проявления эпилепсии регистрируют в раннем детстве [1].

В основном переживания пациентов могут быть даже не из-за клинических проявлений, а в связи со сложностью морально принять наличие эпилепсии и зависимость от неконтролируемых приступов, к необходимости принимать препараты на протяжении длительного времени или постоянно, а также с отношением к ним общества, которое необоснованно и бездоказательно ограничивает их социальное развитие. Влияние стрессов приводит к выбиванию адаптации на биологическом, психологическом и социальном уровнях [2].

Эпилепсия (схватывание) – является гетерогенной хронической патологией, заключающейся в повторяющихся эпизодах активации нейронов мозга, которые неподвластны контролю, что проявляется в виде неконтролируемых приступов выпадения двигательных, вегетативных, чувствительных, а также мыслительных или психических функций. Другими словами, эпилепсия обуславливается повторяющимися конвульсивными или неконвульсивными приступами, их основной причиной является парциальные или генерализованные эпилептические разряды головного мозга [3].

Это заболевание может означать неприятности и для пациента касаясь его социальных прав. Степень грамотности врача в юридических вопросах может как облегчить существование пациента в окружающей его среде, так и существенно усложнить его на долгие годы [4].

На протяжении довольно долгого времени эпилепсия классифицировалась в соответствии с жесткой дихотомией на генерализованные и фокальные, идиопатические и симптоматические формы. Данный вид классификации базируется только на клинических проявлениях, в основном на особенностях эпилептических приступов. Позже в процессе разработки и внедрения электроэнцефалографии, а также метода нейровизуализации, формы эпилепсии классифицировались согласно международной классификации, в основе которой лежала патофизиологическая дихотомия. За последнее десятилетие в области генетики произошел огромный скачок, благодаря чему понимание возможных причин развития эпилепсии резко улучшилось [5, 6].

Эпилепсия считается полиэтиологичным заболеванием, ниже приведены некоторые из возможных причин возникновения данной патологии. Ученые предполагают, что травма является триггером, запускающим патомеханизм. Наиболее важной в этом отношении является родовая травма. Наиболее значимой в данной ситуации является продолжительная асфиксия ново-

рожденных, которая в особо тяжелой форме проявляется у недоношенных детей. Уже с первых дней жизни новорожденного прослеживается наличие патологий при предшествующих послеродовых травмах. Так, прослеживается патология со стороны дыхательной системы, рефлексов, в том числе сосательного, а также возникает сильная утомляемость. При возникновении родовой травмы в большинстве случаев припадки возникают в раннее время вплоть до первых месяцев. Характерная анатомическая находка в случаях родовой травмы – это зона склероза, локализуемая в височной доле головного мозга. В. Пенфилд с коллегами назвали это «инцизурным склерозом», так как во время родового акта возможно раздражение гиппокамповой извилины в ближайшую вырезку, что в результате ведет к склеротическим изменениям [7].

В процессе обследования 174 детей, у которых отмечались пароксизмальные расстройства, было доказано до полутора процентов случаев наличия эпилепсии у матери или близких родственников. Вместе с наследственной отягощенностью и воздействиями факторов внешней среды, во многом истоки приступов имеют антенатальные факторы. Базируясь на результатах исследований ученых, было доказано, что начиная с внутриутробного периода формируется задержка развития и повреждение мозга, которое зависит не только от выраженности гипоксии, но и от срока гестации [8].

Касаясь эпилепсии в отношении женского организма и возможности реализации женщиной своей детородной функции, необходимо сказать, что все чаще в практику внедряются различные методики по осуществлению данной функции. Самым сложным контингентом женщин с данной патологией являются беременные и родильницы. В среднем распространенность эпилепсии среди беременных составляет один процент по данным разных авторов [9, 10]. В Америке, основываясь на статистических данных, было установлено, что каждый третий ребенок на тысячу новорожденных рождается от матери, болеющей эпилепсией. Также отмечают наличие около полутора миллиона женщин детородного возраста с этой патологией [11]. В азиатских странах, например в Турции, на долю беременных женщин с эпилепсией приходится больше одного процента. В Индии два миллиона женщин, половина из которых репродуктивного возраста, страдают эпилепсией [12].

На основе результатов проводимых исследований было доказано уменьшение

репродуктивных возможностей у пациенток с эпилепсией по сравнению с общей когортой исследуемых. Пациенты, страдающие этим заболеванием, реже регистрируют свои отношения. Благополучному зачатию и вынашиванию беременности препятствуют возникающие патологии. Эти аспекты наиболее выражены в случае, когда эпилепсия дебютирует в детском возрасте. В нескольких исследованиях показано снижение сексуальности у пациентов, страдающих эпилепсией, особенно при височной эпилепсии. В снижение фертильности у групп пациентов по данному заболеванию, особенно у женщин, вносит вклад целый ряд факторов, таких как гормональные, социальные и другие. На сегодняшний день при достижении женщиной желанной беременности, возможно реальное проследивание наличия или отсутствия патологии плода путем изучения генетической детерминанты фолатного обмена будущей матери [13, 14]. Однако существенный риск для плода представляет не только заболевание, но и терапия. Нейроэндокринные нежелательные эффекты противоэпилептических препаратов, включая изменения месячного цикла, возникающие нарушения в яичниках в виде кист, изменение гормонального фона и как главенствующая проблема – нарушение репродуктивной функции [15].

Беременные женщины, болеющие эпилепсией, довольно часто встречаемый врачами контингент пациентов. Исходя из данных научных публикаций, представляющих статистику, частота такого сочетания составляет от 0,1 до 0,5% от общего количества родов [16]. Эпилепсия вызывает у врачей опасения, связанные со сложностью контроля приступов и хаотичностью их возникновений. В пример приводятся мнения некоторых авторов о протекании заболевания у беременных и непосредственного ее воздействия на проявления эпилепсии, а также вариантов ведения беременности и способах родоразрешения. Некоторые ученые говорят об улучшении основного заболевания в период беременности, другие же говорят об обратном, уверяя, что беременность отрицательно сказывается на эпилептическом процессе. Если доктор дает согласие на наблюдение беременности у данной категории пациенток, необходимо придерживаться взаимодействия врач – больная. Все больные эпилепсией женщины должны быть проинформированы врачом о возможных осложнениях беременности, риске врожденной патологии и вероятности наследования ребенком эпилепсии. Однако противопоказания к вынашиванию беременности являются относительными и су-

губо индивидуальными, и если женщина заинтересована в сохранении беременности, доктор обязан предпринять все возможные действия для пролонгирования беременности. Врачу также необходимо с определенной осторожностью назначать женщине противоэпилептические препараты из-за возможного провоцирования припадков. Кроме того, для предупреждения формирования у ребенка врожденных пороков, в том числе снижения риска развития эпилепсии, в Российской Федерации пациенткам группы высокого риска рекомендован прием фолиевой кислоты в регламентированной суточной дозе [17].

При возможности компенсированного течения эпилепсии, аспектов в проведении пренатальной подготовки нет. Показаниями к досрочному родоразрешению со стороны заболевания являются склонность к серийному течению припадков, эпилептический статус. Доказано, что все противоэпилептические средства могут обладать тератогенными свойствами. В связи с этим на сегодняшний день предпочтительна монотерапия [18]. Многочисленные данные авторов свидетельствуют о том, что женщины в родах, у которых поставлен диагноз эпилепсия, не обречены на родоразрешение путем кесарева сечения, исключая случаи гипертензионно-гидроцефального синдрома, а также тяжелой степени тяжести преэклампсии, возможность эпистатуса, увеличение количества припадков. Возможное возникновение эпилептического приступа во время родов имеет крайне низкий процент. Данный вид осложнения зависит только от частоты и интенсивности приступа. У беременных, страдающих эпилепсией, чаще возникают преждевременные роды. Стоит отметить, что прием противоэпилептических препаратов на ранних сроках беременности может привести к возникновению различного вида аномалий, поэтому предпочтительно ограничение дозы применяемого препарата или перевод пациентки на менее тератогенное средство [19].

Проблема лечения эпилепсии у пациенток наиболее актуальная и сложная. Именно поэтому лечению по половому варианту заболевания отдается большее предпочтение. Данный аспект можно объяснить, как с точки зрения физиологии женщины и социальной составляющей, так и – вероятным нежелательным эффектам противоэпилептического лечения. Максимально осторожно необходимо подходить к эпилепсии у пациенток в моменты скачков гормонального фона в физиологических условиях: климактерический период, подростковый возраст и т.д. По мимо этого женщинам

присуща смена гормонального фона в течение месячного цикла. В связи с наличием данного аспекта гормональной составляющей выделяют следующие варианты эпилепсий: катамениальная форма эпилепсии, полозависимые синдромы, названные по авторам Ретта и Айкарди, а также фотосенситивный вариант эпилепсии. Неблагоприятно влияют на гормональный статус могут и эпилептические припадки, способствуя нарушению полового развития у девочек, риск выключения фертильности и тератогенного воздействия. Пациентки с диагнозом эпилепсия зачастую имеют низкую рождаемость и периоды ановуляторного цикла. Патология месячного цикла проявляется в виде аменореи, однако более частым вариантом является олигоменорея, менометроррагии, они могут проявляться у трети пациенток с эпилепсией в отличие от группы здоровых женщин, которая составляла более десяти процентов; цикл без овуляции возникал у пациентов с процентом меньше десяти. В недалёком прошлом было зафиксировано около четырех процентов смерти матерей с эпилепсией исходя из общего числа беременных [20].

Препаратом выбора в терапии эпилепсии был признан топирамат, который обладает множественным механизмом действия: потенцирует действие гаммааминомасляной кислоты на соответствующие рецепторы, за счет блока кальций на натрий зависимых каналов, уменьшает эффект возбуждающих медиаторов, снижает выработку карбоангидразы II и IV типов. В незначительной степени способен индуцировать цитохром P450, топирамат в средней дозе может уменьшать выраженность гормональной терапии. На основе доказательной медицины, снижение количества приступов и введение в ремиссию при приоритетном выборе препарата топирамат на период более чем на год. Если начинать терапию с небольшой дозы топирамата, то не наблюдается когнитивных нарушений, которые могут отмечаться на фоне терапии. В качестве нежелательного эффекта возможно снижение индекса массы тела у незначительного числа принимающих препарат пациентов. Это возможно только в границах, исходно выделенных градаций ИМТ, и в исключительных случаях вес снижался ниже допустимых границ [21]. К нежелательным эффектам данного препарата также следует отнести возможность появления мыслей суицидального характера и развитие депрессии. Так, ученые в результате анализа состояния больных включённых в группу исследования, получавших терапию в виде препарата топирамат, и выявили у более четверти па-

циентов, у которых отмечались аффективные расстройства, агрессия немотивированного характера, и другие проявления в виде тревожных состояний. Исключение составила незначительная когорта пациентов, которые были на грани депрессивного состояния, снижение интенсивности и количества припадков. Топирамат является препаратом с повышенным риском развития суицидов у больных эпилепсией [22–24].

Продолжая тему влияния эпилепсии на исход и течение беременности, необходимо отметить, и своевременно решить вопрос о возможности пролонгирования беременности. Проведённый анализ изменений плаценты со стороны морфологии при исследовании у женщин послеродового период показал, что при адаптивной форме эпилепсии обнаруживаются изменения структуры, говорящие о приспособительной реакции, необходимой для обеспечения адекватного развития плода в антенатальном периоде и возможность рождения здорового ребёнка [25]. В случае субкомпенсированной формы течения заболевания, наиболее часто приспособительная реакция возникала в меньшем проценте и в дополнение отмечались дистрофия и некроз в плаценте. При условии декомпенсированного течения эпилепсии приспособительная реакция плаценты не обнаруживается. Можно подвести итог, что исход беременности при данном заболевании по большей части основывается на соотношении повреждения плаценты и компенсаторных изменений в этом органе, а также во время включенных профилактических воздействий, как можно раньше выполненной диагностики, и комплексном лечении возникающей фетоплацентарной недостаточности [26–28].

### Заключение

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать вывод, что эпилепсия оказывает непосредственное влияние на репродуктивную систему женщин и связана с более частым развитием гинекологических заболеваний. Нарушения репродуктивных функций во многом обусловлены приемом противоэпилептических препаратов, которые также увеличивают риск возникновения перинатальных патологий. Своевременное обращение к специалисту позволит снизить риск развития тяжелых осложнений и сохранить фертильность пациенток.

### Список литературы

1. Глоба О.В., Кузенкова Л.М., Баранов А.А., Диагностика и лечение эпилепсии: возможности и трудности // Медицинский совет. 2010. № 54. С. 42–44.

2. Лесик О.О., Жаднов В.А. Гендерные особенности психосоциальных факторов при эпилепсии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. 2016. № 3 (39). С. 107–108.
3. Герцен А.П., Румянцев В.В. Актуальные проблемы реализации социальных прав лиц с диагнозом эпилепсии: правовой аспект // Русский журнал детской неврологии. 2018. № 13. С. 45–48.
4. Меликян Э.Г., Гехт А.Б. Влияние социальных аспектов на качество жизни больных эпилепсией // Психическое здоровье. 2010. № 6. С. 49–55.
5. Гусев Е.И., Гехт А.Б. Современная эпилептология: проблемы и решения. М.: ООО «Буки-Веди», 2015. 520 с.
6. Гусев Е.И., Гехт А.Б. Эпилепсия: фундаментальные, клинические и социальные аспекты. М.: АПКИП-ПРО, 2013. 874 с.
7. Лекомцев В.Т., Овчинникова Т.Ю., Волкова О.А., Сюрсин С.Я., Никитина Ю.С., Невоструева Е.О. Структурно-динамический анализ этиологических факторов при эпилепсии // Вестник психиатрии и психологии Чувашии. 2010. № 8. С. 27–28.
8. Калинин В.А. Оптимизация диагностики и лечения эпилепсии у детей раннего возраста // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. № 1 (7). С. 1675–1776.
9. Жидкова И.Э. Эпилепсия и репродуктивное здоровье женщины // *Palmarium academic publishing*. 2012. № 3. С. 278–281.
10. Карлов В.А., Власов Н.Е. Эпилепсия и беременность // Медицина. 2010. № 2. С. 543–562.
11. Musa M.W. Seizure occurrence, pregnancy outcome among women with active convulsive epilepsy: One year prospective study. *Seizure*. 2015.V. 26. P. 7–11.
12. Озхан О. Исход 149 беременностей у женщин с эпилепсией: опыт работы в больнице третичного звена // Медицинский. Прикладной. Научный. 2015. № 7 (3). С. 108–113.
13. Абдрахманова М.Г., Мамалинова Г.К., Нургожин Е.А., Абжанова А.О., Шуптар С.А. Тактика ведения беременности при эпилепсии // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2014. № 2. С. 7–10.
14. Алакова М.А., Котов А.С., Власов П.Н., Петрухин В.А., Елисеев Ю.В. Эпилепсия и беременность // Посobie для женщин с эпилепсией и их родственников. 2012. № 1. С. 38–42.
15. Власов П.Н., Петрухин В.А. Терапия эпилепсии при подготовке к беременности и ее ведение // Современная терапия в психиатрии и неврологии. 2013. № 3–4. С. 33–34.
16. Доброхотова Ю.Э., Хейдар Л.А., Бояр Е.А., Себко Т.В., Гвоздев А.А., Филатова Л.А. Больные эпилепсией в акушерско-гинекологической практике: современное состояние вопроса, проблемы и пути их решения (обзор литературы) // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2014. № 4. С. 45–48.
17. Власов П.Н., Орехова Н.В., Филатова Н.В. Терапия эпилепсии у женщин – дополнительный саногенетический эффект, обусловленный приемом топирамата // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2015. № 1. С. 23–24.
18. Пылаева О.А., Мухин К.Ю., Морозов Д.В. Особенности лечения эпилепсии у девочек и женщин // Русский журнал детской неврологии. 2015. № 10. С. 27–28.
19. Цивцивадзе Е.Б., Петрухин В.А., Новикова С.В., Власов П.Н., Рязанцева Е.В., Климова И.В. Беременность при эпилепсии: тактика ведения и родоразрешения // Журнал акушерства и женских болезней. 2017. № 5. С. 70–71.
20. Якунина А.В. Особенности течения беременности, родов, послеродового периода при юношеской миоклонической эпилепсии // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2014. № 2. С. 16–19.
21. Нильман Л., Ласло Д., Корен Г. Лечение эпилепсии при беременности // Лекарства. 2011. № 57. С. 535–539.
22. Гафурова М.Р. Влияние антиэпилептических препаратов на состояние фетоплацентарного комплекса у беременных с эпилепсией // Практическая медицина. 2015. № 1. С. 57–59.
23. Арана А., Вентворф С.И., Аусо-Матеус Ж.И., Арелано Ф.М. Суицидные события у пациентов, получавших противоэпилептические препараты // Новый журнал медицины. 2010. № 3. С. 63–65.
24. Мула М., Сандер Д.В. Негативное влияние противоэпилептических препаратов на настроение у больных эпилепсией // Безопасность лекарств. 2009. № 30. С. 555–558.
25. Гафурова М.Р. Клинико-морфологические параллели фетоплацентарного комплекса при эпилепсии // Приволжский научный вестник. 2014. № 10. С. 72–73.
26. Власов П. Н., Карлов В.А., Петрухин В.А. Эпилепсия и беременность: современная терапевтическая тактика // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2013. № 1. С. 14–16.
27. Литовченко Т.А. Эпимил В. Лечение эпилепсии у женщин молодого возраста // Международный неврологический журнал. 2011. № 3. С. 64–66.
28. Петров Ю.А., Купина А.Д., Березовская К.Е., Беременность и роды при эпилепсии в современных условиях // Здоровье и образование в XXI веке. 2019. № 6. С. 48–50.

## СТАТЬИ

УДК 633.521:631.5:631.8 (470.331)

**ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВЫХ ПОСЕВОВ  
ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЛЯХ****Акимов А.А., Иванютина Н.Н., Васильев А.С., Дроздов И.А.,  
Фаринюк Ю.Т., Зайцев С.С.***ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», Тверь,  
e-mail: vasilevtgsha@mail.ru*

Тверская область является традиционным льноводческим регионом Российской Федерации, характеризующимся благоприятными почвенно-климатическими условиями для выращивания льна-долгунца. Вместе с тем известно, что Тверская область обладает огромными запасами залежных земель, которые требуют разработки эффективной программы их использования. В связи с этим, целью исследований было изучить влияние баковых смесей гербицидов и подкормок микроэлементами на формирование продуктивности льна-долгунца сортов Тонус и Надежда, выращиваемых на залежных землях. Полевой многофакторный опыт проводился в 2019 г. на землях Тверской государственной сельскохозяйственной академии. Схема опыта была представлена следующими вариантами: фактор А – сорт льна-долгунца: Тонус; Надежда; фактор В – баковая смесь гербицидов: Агритокс (1 л/га) + Фюзилад Форте (1,5 л/га) + Секатор Турбо (0,1 л/га); Агритокс (1 л/га) + Хантер (3,0 л/га) + Секатор Турбо (0,1 л/га); фактор С – некорневая подкормка микроэлементами: без подкормки; В-ЭДДЯК; Zn-ЭДДЯК. Удобрения применялись в фазу «елочки» растений льна посредством опрыскивания с нормой расхода рабочей жидкости 300 л/га. В результате исследований было выявлено, что для сорта Тонус наиболее эффективным является использование баковой смеси гербицидов Агритокс + Хантер + Секатор Турбо в сочетании с некорневой подкормкой посевов комплексонатом бора, а для сорта Надежда – применение баковой смеси гербицидов Агритокс + Фюзилад Форте + Секатор Турбо. в сочетании с опрыскиванием посевов комплексонатом цинка. Разработанные агроприемы позволяют получать на залежных землях при выращивании сорта Тонус – 5,36 ц/га семян и 28,9 ц/га соломки льна-долгунца, сорта Надежда – 5,78 ц/га семян и 24,1 ц/га соломки льна-долгунца.

**Ключевые слова:** залежные земли, гербициды, микроэлементы, лен-долгунец, структура урожая, продуктивность**PRODUCTIVITY METHODS INCREASING OF FLAX VARIETIES  
AT GROWN ON FALLOW LANDS****Akimov A.A., Ivanyutina N.N., Vasilev A.S., Drozdov I.A., Farinyuk Yu.T., Zaytsev S.S.**  
*Tver State Agricultural Academy, Tver, e-mail: vasilevtgsha@mail.ru*

Tver region is a traditional flax-growing region of the Russian Federation, characterized by favorable soil and climatic conditions for growing flax. At the same time, it is known that the Tver region has huge reserves of fallow land, which requires the development of an effective program of their use. In this regard, the aim of the research was to study the effect of herbicides tank mixtures and microelements on the productivity formation of flax varieties named Tonus and Nadezhda, growing on fallow lands. The field multifactor experiment was conducted in 2019 on the lands of the Tver State Agricultural Academy. The experiment scheme was presented by the following variants: factor A – flax varieties: Tonus; Nadezhda; factor B – herbicides tank mixture: Agritoks (1 l/ha) + Fusilad Forte (1.5 l/ha) + Secator Turbo (0.1 l/ha); Agritoks (1 l/ha) + Hanter (3.0 l/ha) + Secator Turbo (0.1 l/ha); factor C – foliar application of microelements: without fertilizing; spraying with solutions of B-EDDYAK and Zn-EDDYAK. Fertilizer were applied in the «fir-tree» phase of the flax by spraying with the consumption rate of working fluid 300 l/ha. As a result of researches it was revealed that for the Tonus variety the most effective is the use herbicides tank mixture of Agritoks + Hanter + Secator Turbo in combination with foliar application with B-EDDYAK, and for the Nadezhda variety used of herbicides tank mixture of Agritoks + Fusilad Forte + Secator Turbo in combination with spraying of crops with Zn-EDDYAK. Designed agricultural practices allow on fallow lands for Tonus variety and 5.36 c/ha seed and 28.9 c/ha straw, Nadezhda variety is 5.78 c/ha of seeds and 24.1 c/ha straw.

**Keywords:** fallow lands, herbicides, microelements, flax, crop structure, productivity

Российская Федерация обладает исключительными запасами земельных ресурсов, позволяющими при разумном использовании не только обеспечить собственную продовольственную безопасность, но и удовлетворить экспортные запросы мирового рынка сельскохозяйственных сырья и продукции [1–3]. Вместе с этим последние десятилетия функционирования отечественного агропроизводства характеризовались сокращением земель сельскохозяйствен-

ного назначения. Так, только за период с 1990 по 2013 г. размер сельскохозяйственных угодий сократился на 23 млн га, в том числе пашня на 16 млн га, а посевная площадь – на 41 млн га [1, 2]. В последующие годы ежегодный объем выбытия земель из оборота несколько снизился, но по-прежнему в отдельных регионах носит значительный характер [1]. Не стала исключением и Тверская область, являющаяся одним из крупнейших регионов Цен-

трального Нечерноземья, где сформировался значительный банк залежных земель, составляющий по данным регионального Минсельхоза (на 1.01.2018 г.) более 400 тыс. га или 15,5% от всего фонда сельскохозяйственных угодий. Одним из действенных путей вовлечения неиспользуемых земель в оборот для России в целом и Тверской области в частности может стать, прежде всего, расширение посевов традиционных культур, обладающих достаточной генетической устойчивостью к местным абиотическим стрессам. К числу подобных культур для Тверского региона в полной мере можно отнести лен-долгунец [4]. При этом стоит отметить, что, наряду с созданием в настоящее время отечественными селекционерами высокопродуктивных сортов льна, крайне слабо проработанными остаются технологические вопросы их выращивания, в частности вопрос разработки эффективных приемов сортовой агротехники [4–6]. Гармоничное решение двух важных народнохозяйственных задач: ввод залежных земель в эксплуатацию с целью выращивания на них сортовых посевов льна-долгунца – позволило бы обеспечить существенный вклад в экономику Тверской области и страны в целом, за счет улучшения снабжения региональных сельхозтоваропроизводителей качественным семенным материалом местных сортов, а промышленности – доступным сырьем для переработки. Отмечается, что наиболее доступными для оптимизации являются приемы, используемые в системе ухода за посевами и включающие систему защиты посевов от вредных объектов и систему подкормок [5, 6]. Указанные агроприемы осуществляются в период формирования основных вегетативных и генеративных органов растений и, как правило, обеспечивают стабилизацию продукционного процесса, увеличивая урожайность культуры и повышая качество продукции [6]. Особое значение при выращивании льна уделяется гербицидным обработкам и подкормкам микроэлементами, недостаток которых практически невозможно компенсировать другими агроприемами [5, 6]. Несмотря на значительный объем исследований по агротехнологическим аспектам выращивания льна-долгунца, вопросы подбора и использования в сортовых посевах, размещенных на залежных землях, эффективных баковых смесей гербицидов и микроэлементных удобрений остаются практически неизученными и требуют проведения специальных полевых исследований.

Цель исследования: изучить влияние баковых смесей гербицидов и подкормок

микроэлементами на формирование продуктивности льна-долгунца сортов Тонус и Надежда, выращиваемых на залежных землях.

### Материалы и методы исследования

Полевой опыт по разработке отдельных приемов технологий выращивания семеноводческих посевов новых сортов льна-долгунца на залежных землях был заложен в условиях вегетационного периода 2019 г. на полях Тверской ГСХА.

Для достижения поставленной цели был выбран участок залежных земель (под залежью более 5 лет) площадью 2 га.

Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая остаточного карбонатная глееватая на морене, легкосуглинистая по гранулометрическому составу. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы до закладки опыта, следующие: гумус (по Тюрину) 2,73%; общий азот 0,172%; подвижный фосфор ( $P_2O_5$ ) – 395 и обменный калий ( $K_2O$ ) – 150 мг/кг (по Кирсанову);  $pH_{KCl} = 5,9$ , мощность пахотного слоя 20–22 см.

На выбранном участке был заложен методом расщепленных делянок полевой трехфакторный опыт. Повторность в опыте четырехкратная.

Площадь делянки I порядка 2496 м<sup>2</sup>, II порядка 1248 м<sup>2</sup>, III порядка 416 м<sup>2</sup>. Размещение вариантов – рендомизированное.

Схема опыта: фактор А – сорт льна-долгунца: 1) Тонус; 2) Надежда; фактор В – баковая смесь гербицидов: 1) Агритокс (1 л/га) + Фюзилад Форте (1,5 л/га) + Секатор Турбо (0,1 л/га); 2) Агритокс + (1 л/га) + Хантер (3,0 л/га) + Секатор Турбо (0,1 л/га); фактор С – некорневая подкормка микроэлементами: 1) без подкормки; 2) подкормка В-ЭДДЯК, 0,13% рабочий раствор; 3) подкормка Zn-ЭДДЯК, 0,13% рабочий раствор.

Объекты исследований – два новых сорта льна-долгунца: Тонус и Надежда (селекции Института льна – филиал ФГБНУ ФНЦ ЛК).

Для некорневой подкормки использовали новые формы микроэлементных удобрений В-ЭДДЯК и Zn-ЭДДЯК, синтезированные на кафедре агрохимии и земледелия.

В-ЭДДЯК – биологически активный борат-этилендиаминдисулфонатный комплекс, представляющий собой дигидрат борат-этилендиаминдисулфоната в форме тетраагриевой соли  $Na_4[C_{10}H_{12}O_8N_2B] \cdot 2H_2O$  (сокращенно В-ЭДДЯК),  $M = 459$  г/моль.

Zn-ЭДДЯК – комплекс цинка с этилендиаминдихлоридной кислотой  $Na_2[C_{10}H_{12}O_8N_2Zn] \cdot 2H_2O$  (Zn-ЭДДЯК),  $M = 435$  г/моль.

Агротехника льна-долгунца была общепринятая для хозяйств Тверской области. Предшественник – залежь (пятилетняя). Минеральные удобрения не вносились. Обработка почвы в осенний период заключалась в дисковании залежи с последующей вспашкой при появлении массовых всходов сорняков. Весенняя обработка почвы заключалась в культивации в два следа, затем через неделю проводилась культивация с боронованием в два следа. Предпосевная обработка почвы проводилась в один след. Посев льна-долгунца осуществлялся с нормой высева 12 млн всхожих семян на 1 га. Для посева использовались семена категории РС-1, протравленные ТМД (4 кг/т). Обработка гербицидами и комплексонатами проводилась в фазу «елочка» с нормой расхода рабочей жидкости 300 л/га. Уборка урожая осуществлялась сплошным способом.

Агроклиматические условия в период исследований при соблюдении базовых сроков основных агроопераций были неблагоприятными для роста и развития льна-долгунца, что в конечном счете повлияло на ход продукционного процесса и отразилось на накоплении урожая (рис. 1, 2). Сумма осадков в целом за период составила 90,9% от нормы, а сумма эффективных температур 102,0% от нормы.

Учеты и наблюдения в опыте осуществляли, руководствуясь «Методическими указаниями по проведению полевых опытов со льном-долгунцом (1978)» [7].

### Результаты исследования и их обсуждение

Продукционный процесс льна-долгунца является одним из наиболее сложных, так как, например, если в процессе выращивания зерновых культур или картофеля направленность продукционного процесса,

как правило, определяется основным видом продукции, то у современных сортов льна-долгунца получение высоких урожаев, как семян, так и волокна, имеет практически равное значение [6]. Указанный факт требует комплексной оценки эффективности разрабатываемых агроприемов, применительно к каждому конкретному сорту. Рассматриваемые положения подтверждаются и результатами данной работы, где были изучены продуктивные свойства двух новых сортов льна-долгунца Тонус и Надежда (табл. 1). Так, урожайность в опыте, как семян, так и льносолломки, определялась в первую очередь сортовой реакцией растений на применяемые агроприемы, что свидетельствует о их высокой значимости для продукционного процесса. Более значительной семенной продуктивностью на фоне применения баковой смеси гербицидов Агритокс + Фюзилад Форте + Секатор Турбо характеризовался сорт Надежда, обеспечивший формирование прибавки урожая на уровне 1,01 ц/га или 26,9%, с сохранением выявленной закономерности и при некорневых подкормках В-ЭДДЯК и Zп-ЭДДЯК – 0,61 и 1,47 ц/га (12,4 и 34,1%) соответственно. При этом по урожайности льносолломки в этих же вариантах опыта превалировал сорт Тонус, сформировавший при отсутствии подкормки дополнительный урожай соломы 6,3 ц/га или 28,1%, а при проведении опрыскивания 7,8 и 9,8 ц/га или 33,2 и 40,7% соответственно.

Несколько иной ход формирования продуктивности сложился при использовании баковой смеси гербицидов Агритокс + Хантер + Секатор Турбо. Так, наиболее высокой урожайностью характеризовался сорт Тонус, обеспечивший прибавки урожая льносолломки в разрезе вариантов подкормок – 8,8, 10,2, 12,8 ц/га, или 50,2; 55,1; 66,7%.

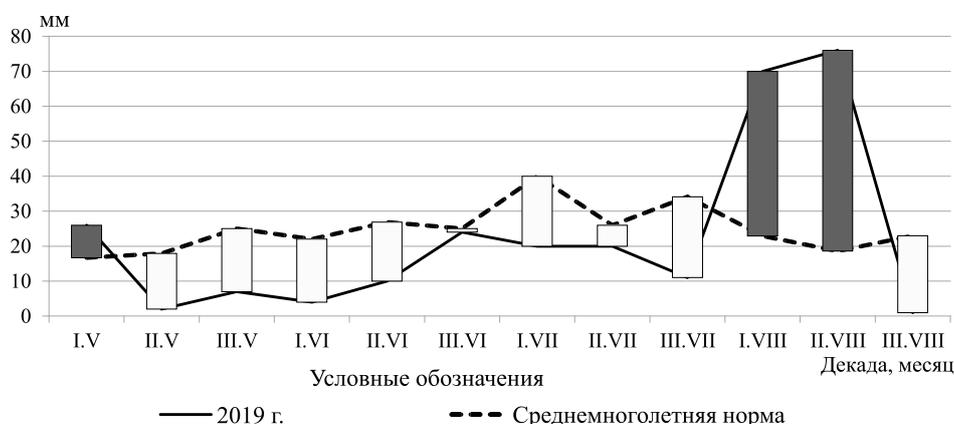


Рис. 1. Распределение осадков в период исследований

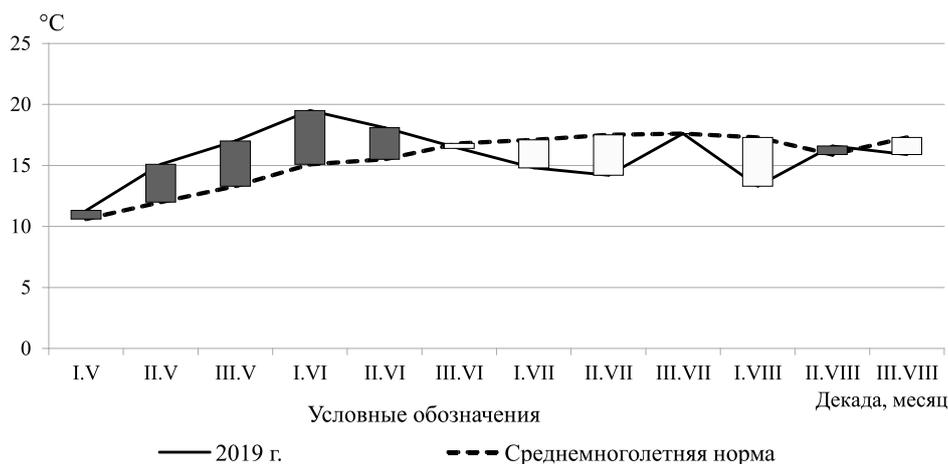


Рис. 2. Распределение среднесуточной температуры воздуха в период исследований

Таблица 1

Влияние некорневой подкормки и баковых смесей гербицидов на урожайность льна-долгунца

Сорт (А)	Баковая смесь гербицидов (В)	Подкормка (С)	Семена			Солома		
			ц/га	± к контролю	% к контролю	ц/га	± к контролю	% к контролю
Тонус	Агритокс + Фюзилад Форте+ Секатор Турбо	Без подкормки	3,75	—	—	28,7	—	—
		В-ЭДДЯК	4,90	+1,15	30,7	31,3	+2,6	9,1
		Zn-ЭДДЯК	4,31	+0,56	14,9	33,9	+5,2	18,1
	Агритокс + Хантер + Секатор Турбо	Без подкормки	4,80	—	—	26,3	—	—
		В-ЭДДЯК	5,36	+0,56	11,7	28,7	2,4	9,1
		Zn-ЭДДЯК	5,25	+0,45	9,4	32,0	5,7	21,7
—	В среднем	4,73	—	—	30,2	—	—	
Надежда	Агритокс + Фюзилад Форте+ Секатор Турбо	Без подкормки	4,76	—	—	22,4	—	—
		В-ЭДДЯК	5,51	+0,75	15,8	23,5	+1,1	4,9
		Zn-ЭДДЯК	5,78	+1,03	21,6	24,1	+1,7	7,6
	Агритокс + Хантер + Секатор Турбо	Без подкормки	4,25	—	—	17,5	—	—
		В-ЭДДЯК	5,16	+0,91	21,4	18,5	+1,0	5,7
		Zn-ЭДДЯК	5,52	+1,27	29,9	19,2	+1,7	9,7
—	В среднем	5,17	—	—	20,9	—	—	
НСР <sub>05</sub>			0,95	—	—	1,8	—	—
НСР <sub>05</sub> главных эффектов			0,48	—	—	0,9	—	—
НСР <sub>05</sub> парных взаимодействий			0,67	—	—	1,3	—	—

Примечательно, что, несмотря на значительное колебание величин урожайности соломы по сортам, прибавки урожайности льносемян в этих же вариантах опыта были незначительными и находились в пределах ошибки наблюдений.

По результатам комплексной оценки продуктивности сортовых посевов льна-долгунца наиболее эффективным для сорта Тонус являлось использование баковой смеси гербицидов Агритокс + Хантер + Секатор Турбо, а для сорта Надежда – Агритокс + Фюзилад Форте + Секатор Турбо. При этом из некорневых подкормок

наиболее предпочтительным для сорта Тонус было опрыскивание посевов комплексонатом бора, а для сорта Надежда комплексонатом цинка. Выявленные закономерности обусловлены генетическими особенностями исследуемых сортов, которые при общих равных условиях отвечают за мобилизацию процесса формирования генеративных органов растений, увеличивая тем самым семенную продуктивность. Каталитическую функцию в этих процессах выполняют как раз микроэлементы, способствуя активации генетического потенциала сортов.

Таблица 2

Влияние некорневой подкормки и баковых смесей гербицидов на структуру урожайности льна-долгунца

Сорт (А)	Баковая смесь гербицидов (В)	Подкормка (С)	Число растений перед уборкой, шт/м <sup>2</sup>	Число коробочек на одном растении, шт.	Число семян в одной коробочке, шт.	Масса семян с одной коробочки, г	Масса 1000 семян, г
Тонус	Агритокс + Фюзилад Форте+ Секатор Турбо	Без подкормки	652	4,1	4,9	0,022	4,72
		В-ЭДДЯК	654	4,0	5,0	0,028	5,40
		Zn-ЭДДЯК	645	4,2	5,1	0,026	5,41
	Агритокс + Хантер + Секатор Турбо	Без подкормки	602	4,0	4,9	0,027	5,39
		В-ЭДДЯК	600	4,2	4,9	0,033	5,84
		Zn-ЭДДЯК	625	4,0	4,8	0,031	5,43
В среднем			630	4,1	4,9	0,028	5,37
Надежда	Агритокс + Фюзилад Форте+ Секатор Турбо	Без подкормки	610	3,6	5,7	0,030	5,51
		В-ЭДДЯК	592	3,9	6,0	0,033	5,31
		Zn-ЭДДЯК	611	3,6	6,1	0,036	5,51
	Агритокс + Хантер + Секатор Турбо	Без подкормки	570	3,6	5,1	0,033	5,33
		В-ЭДДЯК	565	3,7	5,9	0,035	5,32
		Zn-ЭДДЯК	572	4,2	6,1	0,037	5,54
В среднем			587	3,8	5,8	0,034	5,42

Урожайность культурных растений, как интегральный показатель, определяется, прежде всего, элементами структуры урожая и ходом их формирования. Наибольшей изменчивостью по вариантам у льна-долгунца характеризовались число растений к уборке, а также количество коробочек на растении и число семян в них (табл. 2).

Наиболее оптимальные показатели структуры урожая у сорта Тонус, обеспечившие лучшую урожайность семян, (число растений к уборке 600 шт/м<sup>2</sup>, число коробочек на одном растении 4,2 шт., число семян в коробочке 4,9 шт., масса семян с одной коробочки 0,033 г, масса 1000 семян 5,84 г, масса семян с одного растения 0,139 г) были сформированы на фоне применения баковой смеси гербицидов Агритокс + Хантер + Секатор Турбо и некорневой подкормки посевов В-ЭДДЯК. Иная тенденция отмечалась у сорта Надежда, где наилучшие параметры структуры урожая (число растений к уборке 572 шт/м<sup>2</sup>, число коробочек на одном растении 4,2 шт., число семян в коробочке 6,1 шт., масса семян с одной коробочки 0,037 г, масса 1000 семян 5,54 г, масса семян с одного растения 0,155 г) были получены при использовании баковой смеси гербицидов Агритокс + Хантер + Секатор Турбо и опрыскивания посевов Zn-ЭДДЯК. Вместе с тем стоит отме-

тить, что обработка посевов баковой смесью Агритокс + Фюзилад Форте + Секатор Турбо обеспечила лучшую сохранность растений к уборке (611 шт/м<sup>2</sup>), что в сочетании с обработкой посевов комплексонатом цинка способствовало накоплению большей урожайности как семян, так и льносоломки именно в данном варианте технологии.

#### Выводы

Таким образом, по итогам многофакторного полевого опыта, выполненного на залежных землях в ходе ввода их в эксплуатацию под сортовые посеvy льна-долгунца, было выявлено, что для сорта Тонус наиболее эффективным является использование баковой смеси гербицидов Агритокс + Хантер + Секатор Турбо в сочетании с некорневой подкормкой посевов комплексонатом бора, а для сорта Надежда применение баковой смеси гербицидов Агритокс + Фюзилад Форте + Секатор Турбо в сочетании с опрыскиванием посевов комплексонатом цинка. Разработанные агроприемы позволяют получать на залежных землях при выращивании сорта Тонус – 5,36 ц/га семян и 28,9 ц/га соломки, сорта Надежда – 5,78 ц/га семян и 24,1 ц/га соломки соответственно. Повышение продуктивности от приемов технологии обусловлено увеличением сохранности растений, ростом числа коробочек на растении и их обсеменности.

**Список литературы**

1. Голубева Л.В., Наквасина Е.Н. Трансформация по-стагrogenных земель на карбонатных отложениях: монография. Архангельск: КИРА, 2017. 152 с.
2. Зельднер А.Г. Состояние сельскохозяйственных земель в России статья для [webeconomy.ru](http://www.webeconomy.ru). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.webeconomy.ru/index.php?page=cat&newsid=2492&type=news#> (дата обращения: 25.11.2019).
3. Фаринюк Ю.Т., Мигулев П.И., Глебова А.Г. Инновационное развитие АПК Тверской области: монография. Тверь: Тверская ГСХА, 2013. 175 с.
4. Рожмина Т.А., Павлова Л.Н., Понажев В.П., Захарова Л.М. Льняная отрасль на пути к возрождению // Защита и карантин растений. 2018. № 1. С. 3–8.
5. Новохацкая Д.М. Влияние агротехнических приемов возделывания льна-долгунца на урожайность и качество волокна в условиях Ленинградской области: дис. ... канд. сел.-хоз. наук. Санкт-Петербург, 2018. 139 с.
6. Попеляева Н.Н., Штабель Ю.П. Лен-долгунец в низкогорьях Горного Алтая: монография. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2014. 119 с.
7. Методические указания по проведению полевых опытов со льном-долгунцом. Торжок: ВНИИЛ, 1978. 71 с.

## СТАТЬИ

УДК 621.91:621.951.1:621.914.1

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА ОСЕВУЮ СИЛУ И КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ПРИ СВЕРЛЕНИИ И ФРЕЗЕРОВАНИИ

<sup>1</sup>Кадыров И.Ш., <sup>1</sup>Темирбеков Ж.Т., <sup>1</sup>Турусбеков Б.С., <sup>2</sup>Давлятов У.Р.

<sup>1</sup>*KNAU им. К.И. Скрябина, Бишкек, e-mail: bgtu\_kg@mail.com, jeenbek-58@mail.ru, tbs200618@gmail.com;*

<sup>2</sup>*КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, e-mail: uluk-2000@mail.ru*

В статье на основе проведенных экспериментальных исследований при механической обработке изделий (сверление и фрезерование) установлены функциональные связи сил резания и крутящего момента в зависимости от подачи инструмента и скорости резания. Представлены результаты экспериментальных исследований. По мере повышения скорости резания от 3 до 8 м/мин осевая сила возрастает, а примерно от 8 до 80 м/мин осевая сила резко снижается. Такая же зависимость наблюдается с изменением крутящего момента по мере возрастания скорости резания, хотя влияние скорости резания менее значительное. Установлено, что наиболее радикальными способами управления точностью механической обработки являются способы автоматического управления режимами резания с целью стабилизации величин упругих перемещений инструмента независимо от изменений условий резания, т.е. путем регулирования силы резания, изменяя подачу инструмента или скорость резания, поскольку эти параметры функционально связаны с величиной силы резания. Установлено, что применение автоматических систем управления режимами резания в металлорежущих станках позволяет решить основную задачу в машиностроении – повышение качества изготавливаемой продукции. Экспериментальное исследование при фрезеровании показало, что величина износа инструмента по задней грани нелинейно зависит от скорости фрезерования и времени обработки: износ более интенсивно происходит при малых скоростях фрезерования, а стойкость инструмента снижается с увеличением скорости фрезерования.

**Ключевые слова:** металлорежущий станок, приспособление, стойкость инструмента, деталь, режим резания, производительность сверлильной обработки, гидропривод подачи, система стабилизации упругих деформаций

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF CUTTING SPEED ON AXIAL FORCE AND TORQUE DURING DRILLING AND MILLING

<sup>1</sup>Kadyrov I.Sh., <sup>1</sup>Temirbekov Zh.T., <sup>1</sup>Turusbekov B.S., <sup>2</sup>Davlyatov U.R.

<sup>1</sup>*KNAU named after K.I. Scryabin, Bishkek, e-mail: bgtu\_kg@mail.com, jeenbek-58@mail.ru, tbs200618@gmail.com;*

<sup>2</sup>*KSTU named after I. Razzakov, Bishkek, e-mail: uluk-2000@mail.ru*

Based on the conducted experimental studies during the machining of products (drilling and milling), the functional relationships of cutting forces and torque depending on the tool feed and cutting speed are established. The results of experimental studies are presented. As the cutting speed increases from 3 to 8 m / min, the axial force increases, and from about 8 to 80 m / min, the axial force decreases sharply. The same dependence is observed with a change in torque as the cutting speed increases, although the influence of the cutting speed is less significant. It has been established that the most radical methods for controlling the accuracy of machining are methods for automatically controlling cutting conditions in order to stabilize the values of the elastic displacements of the tool regardless of changes in cutting conditions, by adjusting the cutting force, changing the tool feed or cutting speed, since these parameters are functionally related to the value of the cutting force. It is established that the use of automatic control systems for cutting conditions in metal-cutting machines allows us to solve the main problem in mechanical engineering – improving the quality of manufactured products. An experimental study during milling showed that the amount of tool wear along the rear face non-linearly depends on the milling speed and processing time: wear occurs more intensively at low milling speeds, and tool life decreases with increasing milling speed.

**Keywords:** metal-cutting machine, adaptation, tool life, details, cutting modes, productivity of drilling processing, hydraulic drive, system of stabilization of elastic deformations

В результате изучения деформаций в технологической системе «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД) профессором Б.С. Балакшиным и другими учеными была выявлена возможность автоматического управления упругими перемещениями на основе соответствующих приборов, позволяющих стабилизировать деформации и усилия резания с учетом всех факторов, влияющих на уровень режимов

резания. Системы автоматического (адаптивного) управления (САУ) упругими перемещениями вносят коренные улучшения в обработку резанием, обеспечивают значительное повышение производительности оборудования, точности обработки деталей и создают благоприятные условия для многостаночного обслуживания. В результате применения систем автоматического управления упругими перемещениями станками

средняя производительность оборудования увеличивается от 30 до 300%, а точность обработки деталей повышается в 2–5 раз. При этом уменьшаются перегрузки и поломки инструмента, стойкость которого за счет стабильности режимов резания увеличивается в среднем в 1,5 раза. Указанные преимущества адаптивных систем подтверждаются данными отдельных заводов, испытывавших и внедривших в производство станки.

В связи со сказанным проведенные экспериментальные исследования по установлению функциональной связи сил резания и крутящего момента операций сверления и фрезерования, позволяющие автоматизировать управление режимами работ оборудования, являются актуальными.

### Материалы и методы исследования

Скорость резания для различных точек кромки сверла различна: на периферии скорость резания наибольшая, по мере приближения к оси сверла она уменьшается и в центре равна нулю. В расчет принимается наибольшая скорость резания [1, 2]:

$$v = \frac{\pi dn}{1000} \text{ м/мин}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр сверла в мм;  $n$  – частота вращения сверла.

Подача  $s$  – величина перемещения сверла за один его оборот. Минутная подача  $S_m = Sn$ , мм/мин. Силы резания и крутящий момент при сверлении.

Тангенциальная сила  $P_z$ , действующая на каждую режущую кромку, сверла определяется, как при точении, т.е.:

$$P_z = c_p \cdot b^{x_p} a^{y_p}, \quad (2)$$

где  $b$  – ширина снимаемого слоя;  $a$  – толщина снимаемого слоя;  $c_p$  – коэффициент, зависящий от качества материала и геометрических параметров инструмента.

Показатели степеней  $x_p$ ,  $y_p$  берутся по справочнику, как при точении, а именно  $x_p = 1,0$ ,  $y_p = 0,78$  при сверлении стали и  $x_p = 1,0$ ,  $y_p = 0,73$  – при сверлении чугуна.

$$b = \frac{d}{2 \sin \varphi}; \quad a = \frac{s}{2} \sin \varphi, \quad (3)$$

где  $\varphi$  – угол между проекцией режущего лезвия на осевую плоскость сверла и направлением подачи.

Подставляя перечисленные значения в формулу усилия резания (2), получим

$$P_z = \frac{c_p \cdot d \cdot s^{y_p}}{2^{1+y_p} (\sin \varphi)^{1-y_p}}. \quad (4)$$

Приняв  $\varphi = 59^\circ$ , получим

$$P_z = 0,32 \cdot c_p \cdot d \cdot s^{0,78}. \quad (5)$$

Величину крутящего момента, возникающего при сверлении, можно рассматривать как сумму трех моментов:

$$M = M_1 + M_2 + M_3, \quad (6)$$

где  $M_1$  – момент от суммарной тангенциальной силы;  $M_2$  – момент от тангенциальной силы  $P_{zb}$ ;  $M_3$  – момент от тангенциальной силы  $P_{zb}$ , действующий на поперечной кромке сверла.

Многочисленные эксперименты по определению моментов  $M_2$  и  $M_3$  дали следующий результат: так как сумма этих моментов ( $M_2 + M_3$ ) составляет не более 20% от  $M_1$ , то можно принять  $M = 1,2 M_1$ . Кроме того, поскольку  $M_1 = P_z d/2$ , то можно принять

$$M = 0,6 \cdot P_z \cdot d. \quad (7)$$

Подставляя значение  $P_z$  из (5) в (7), получим формулу для определения крутящего момента при сверлении

$$M \approx 0,2 \cdot c_p \cdot d \cdot s^{0,78}. \quad (8)$$

Подсчет усилия подачи при сверлении рекомендуется определять по формуле

$$P_0 = K (2P_z + P_{zn}), \quad (9)$$

где  $K$  – отношение  $P_0/P_z$  при сверлении.

Осевые усилия на вспомогательных режущих кромках принимаем равными нулю

$$P_{zn} = c_{pn} \cdot b_1 \cdot a^{y_p}, \quad (10)$$

где  $c_{pn} = 2c_p$  – экспериментальные данные;  $b_1$  – ширина поперечной кромки;  $a$  – мм/об.

Положим, что  $K = 0,5$ , в результате чего получим формулу расчета усилия подачи при сверлении стали

$$P_0 = c_{p0} \cdot d \cdot s^{0,75}, \quad (11)$$

где  $c_{p0} = 0,46 \cdot c_p$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ выведенных формул показывает, что чем больше диаметр сверла и величина подачи, тем больше площадь поперечного сечения среза, больше и объем деформируемого материала, и сопротивление стружкообразованию, следовательно, больше осевая сила и момент сопротивления резанию. Диаметр сверла оказывает большее влияние на увеличение параметров  $P_0$  и  $M$ , чем подача. Подача инструмента на эти параметры оказывает влияние примерно одинаково

во, в то время как диаметр сверла влияет на крутящий момент значительно больше, чем на осевую силу, в связи с увеличением плеча приложения силы. Различное влияние диаметра сверла и подачи учитывается показателями степеней в соответствующих формулах при подсчете  $P_0$  и  $M$ .

*Скорость резания при сверлении и ее влияние на крутящий момент и усилия подачи.* Отметим, что на скорость резания при сверлении влияют следующие факторы: стойкость режущего инструмента, определяемая качеством инструмента, физико-механические свойства обрабатываемого материала, материал режущей части инструмента, диаметр сверла, подача сверла, глубина сверления, форма заточки сверла, смазочно-охлаждающая жидкость и др. Чем больше скорость резания, тем больше тепловыделение, интенсивнее износ, затупление сверла и отсюда меньшая его стойкость.

Связь между скоростью резания и стойкостью, подобно тому, как это имеет место при точении, т.е. следующей зависимостью [3, 4]:

$$v = \frac{c_v}{T^m}, \quad (12)$$

где  $v$  – скорость резания;  $T$  – стойкость сверла;  $c_v$  и  $m$  – соответственно коэффициент и показатель степени, зависящие от качества обрабатываемого материала, материала сверла.

Величина показателя  $m$  характеризует интенсивность влияния стойкости на скорость резания. При резании сверлами из быстро режущей стали различных марок необходимо брать значение  $m = 0,2$ , а при резании чугуна –  $m = 0,125$ .

Для сверл, оснащенных твердым сплавом при обработке сталей,  $m = 0,3$  и чугуна  $m = 0,4$ .

С увеличением скорости резания уменьшается деформируемый объем впереди лез-

вия сверла при одновременном увеличении температуры на контактных поверхностях. Это приводит к соответствующему изменению физико-механических свойств обрабатываемого материала в его контактном слое, что оказывает влияние на изменение  $M_{кр}$  и  $P_0$ .

Теоретически не представляется возможным описать эти изменения в виде математической модели в связи с тем, что этот процесс многофакторный, поэтому нами были проведены экспериментальные исследования влияния скорости резания на  $M_{кр}$  и  $P_0$ .

Материал обрабатываемой детали сталь 20Х, сверло с диаметром  $d = 20$  мм, его геометрические параметры:  $\varphi = 58^\circ$ ,  $\alpha_n = 15^\circ$ ,  $\gamma = 0$ . Подача  $s = 0,15$  мм/об, смазочно-охлаждающая жидкость – 10% раствор эмульсии с расходом 5÷6 л/мин, вертикально сверлильный станок 2Н135. Результаты экспериментов представлены на рис. 1 и рис. 2.

По мере повышения скорости резания от 3 до 8 м/мин осевая сила  $P_0$  возрастает, а примерно от 8 до 80 м/мин осевая сила резко снижается. Такая же зависимость наблюдается с изменением крутящего момента по мере возрастания скорости резания, хотя влияние скорости резания менее значительное.

Скорость резания при сверлении зависит от величины подачи  $s$ , диаметра сверла  $d$ , периода стойкости  $T$ , глубины сверления  $l$ , геометрических параметров режущей части сверла, материала сверла и обрабатываемого материала, качества смазочно-охлаждающей жидкости и др. Следовательно, функцию скорости резания, можно записать следующим образом:

$$v = f(T, s, d, l, K_r, K_{мс}, K_m, K_{сож} \text{ и др.}), \quad (13)$$

где  $K_r$ ,  $K_{мс}$ ,  $K_m$ ,  $K_{сож}$  – соответственно коэффициенты, учитывающие следующие факторы: геометрия режущей части сверла, материал сверла, материал обрабатываемого изделия, количество смазочно-охлаждающей жидкости.

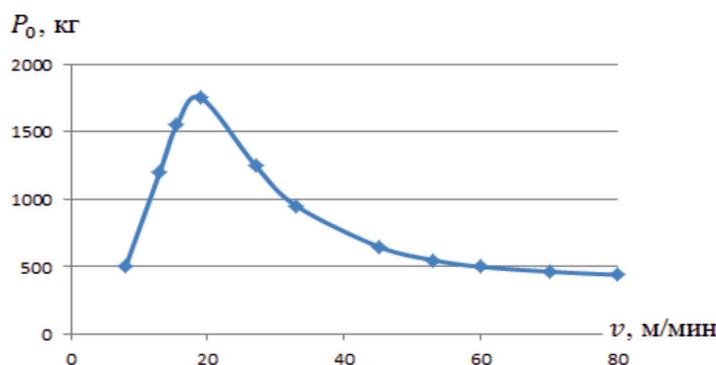


Рис. 1. Влияние скорости резания на осевую силу при сверлении

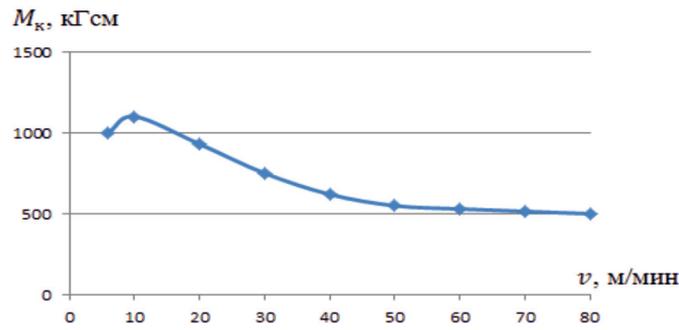


Рис. 2. Влияние скорости резания на крутящий момент при сверлении

Рассмотрим влияние отдельно перечисленных факторов на скорость резания.

С увеличением подачи инструмента скорость резания уменьшается и интенсивность снижения зависит от материалов сверла и обрабатываемого материала, согласно формуле

$$v = \frac{cD^x}{T \cdot 1/m \cdot s^y}.$$

**Влияние диаметра сверла.** С увеличением диаметра сверла скорость резания повышается, возрастает жесткость систем при сверлении, что приводит к понижению деформации самого сверла, растет его масса и улучшается отвод тепла, и это особенно важно при скоростном сверлении.

**Влияние длины сверления.** По мере увеличения длины сверления ухудшаются условия резания, затрудняются подвод смазочно-охлаждающей жидкости, отвод стружки.

**Рекомендуемая методика определения подачи сверла.** Как известно, производительность при сверлении зависит как от механики сверления, так и механики станка.

Кинематическая скорость вращения сверла равна [1]:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин}, \quad (14)$$

где \$n\$ – число оборотов сверла шпинделя; \$D\$ – диаметр шпинделя.

Скорость сверления:

$$v = \frac{cd^x}{s^y}, \quad (15)$$

где \$c\$ – коэффициент, учитывающий факторы: обрабатываемый материал сверла, геометрия режущей части сверла, качество смазочно-охлаждающей жидкости и др.; \$x\$ и \$y\$ – показатели степеней, полученные экспериментально при обработке конкретного материала. Решая совместно уравне-

ния (14) и (15), получим формулу определения подачи по стойкости сверла:

$$s^y = \frac{1000cd^x}{\pi D n}. \quad (16)$$

**Фрезерование.** Фрезерование является одним из высокопроизводительных и распространенных методов обработки металлов. Доля фрезерных станков составляет 20÷25% от станочного парка. Существуют разнообразные виды фрезерования и типы фрез: цилиндрические, торцевые, дисковые, прорезные, концевые и фасонные. Рассмотрим наиболее распространенные цилиндрические фрезы. При рассмотрении кинематики фрезерования будем считать траекторию зуба фрезы окружностью. Скорость резания при фрезеровании равна сумме скорости вращения \$v\_{вр}\$ и скорости подачи \$\bar{v}\_{под}\$ (рис. 3) [5]:

$$\bar{v}_{рез} = \bar{v}_{вр} + \bar{v}_{под} = \sqrt{v_{ср}^2 + v_{по}^2} \pm 2\bar{v}_{вр} \bar{v}_{под}. \quad (17)$$

Поскольку \$v\_{под} = 100 \div 500\$ мм/мин весьма мала, она составляет примерно 0,5÷1% по сравнению со скоростью вращения фрезы, \$v\_{вр} = 50 \div 300\$ м/мин, то скорость резания при фрезеровании можно принять равной скорости вращения фрезы:

$$v_{рез} \approx v_{вр} = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин}, \quad (18)$$

где \$D\$ – диаметр фрезы в мм; \$n\$ – число оборотов в фрезы в м/мин.

Подачей на оборот называется перемещение заготовки за время одного оборота фрезы:

$$s_n = s_z \cdot z \text{ мм/об}, \quad (19)$$

где \$z\$ – число зубьев фрезы.

Подача в минуту – это перемещение заготовки за одну минуту:

$$s_m = s_n \cdot n. \quad (20)$$

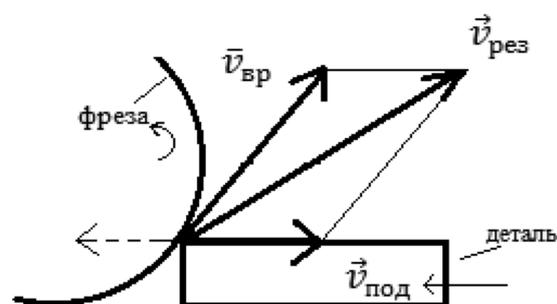


Рис. 3. Схема для определения скорости резания при фрезеровании

Размеры срезаемого слоя металла при фрезеровании. Силы резания при обработке изделий из стали цилиндрическими фрезами определяется эмпирической формулой

$$P = c \cdot t^{0.85} s_z^{0.7} \cdot z \cdot B^{-0.86}, \quad (21)$$

где  $c = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5$ ;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий механические качества обрабатываемой детали;  $k_2$  – учитывающий материал режущей части фрезы;  $k_3$  – коэффициент, учитывающий геометрию зуба фрезы;  $k_4$  – учитывает влияние смазочно-охлаждающей жидкости на процесс фрезерования;  $k_5$  – учитывает влияние вибрации на процесс фрезерования.

Известно, что скорость фрезерования является основным фактором, влияющим на производительность. Основной задачей, связанной с выбором скорости резания, является установление зависимости периода стойкости фрезы от скорости резания т.е.  $T = f(v)$ .

С другой стороны, износ режущей части фрезы – критерий затупления зависит от времени обработки и скорости фрезерования. Были проведены эксперименты для определения этой зависимости при фрезеровании стали 45 цилиндрической фрезой из быстрорежущей стали:  $D = 90$  мм;

$s_z = 0,25$  мм,  $t = 5$  мм, результаты эксперимента представлены на рис. 4.

На практике пользуются зависимостью  $v = f(T)$ , эмпирическая зависимость, которая определяется следующей формулой [5]:

$$v = \frac{c \cdot D^q}{T \cdot 1/m \cdot s^x \cdot t^y \cdot B^z \cdot z^u}, \quad (22)$$

где  $c$  и показатели  $q, 1/m, x, y, z, u$  представлены в справочниках и их значения зависят от материалов обрабатываемого и фрезы.

На рис. 5 представлены результаты экспериментов по определению зависимости  $T = f(v)$ , проведенных нами фрезой из быстрорежущей стали и фрезой с твердосплавными пластинами Т15К6 при  $t = 1,5$  мм,  $s_z = 0,16$  мм, работа с охлаждением.

При обработке стали фрезой, снабженной пластинками из твердых сплавов, рекомендуется для расчета скорости фрезерования использовать следующую формулу:

$$v = \frac{c \cdot D^{0.45}}{T^{0.6} \cdot s_z^{0.6} \cdot t^{0.45} \cdot B^{0.5} \cdot z^{0.18}}. \quad (23)$$

Формула, полученная методом математической статистики (метод выпрямления кривых), ее исследование позволяет установить определенную связь физических явлений: диаметр фрезы  $D$  стоит в числителе, следовательно, увеличение этого параметра, связанного отвода тепла и снижение температуры в зоне резания благотворно влияет на стойкость фрезы; показатель над величиной подачи больше, чем над величиной глубины резания, следовательно, увеличение подачи существенно уменьшает скорость резания. Стойкость фрез, работающих на относительно малых скоростях резания, при её увеличении возрастает (рис. 5), затем с возрастанием в диапазоне 100–300 м/мин период стойкости уменьшается.

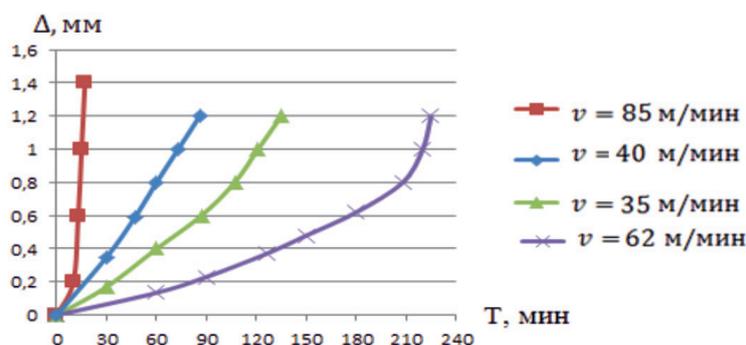


Рис. 4. Зависимость износа  $\Delta$  по задней поверхности, от времени обработки при различных значениях скоростей фрезерования

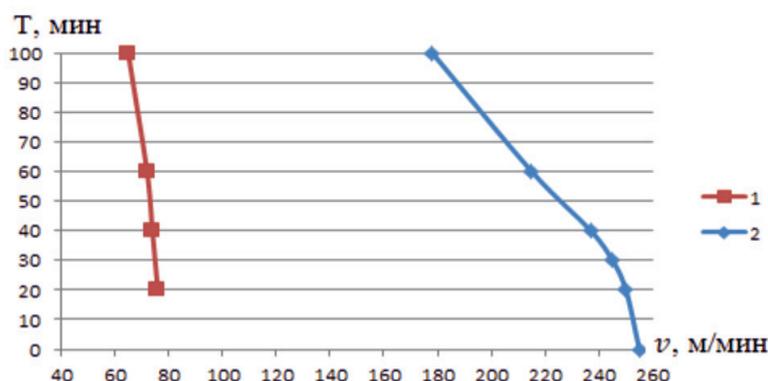


Рис. 5. Зависимость стойкости от скорости резания: 1 – фреза из быстрорежущей стали; 2 – фреза, оснащенная пластинками твердосплавными TiAlN

С увеличением скорости резания больше 300 м/мин кривая делает еще больше поворот вниз, так как интенсивность изнашивания фрезы возрастает.

Увеличение стойкости фрезы с возрастанием скорости резания при обработке металлов в диапазоне 50–100 м/мин не позволяет вести фрезерование с относительно большей производительностью. Для фрезерования изделий с большой производительностью при оптимальном значении стойкости фрезы необходимо увеличение числа оборотов шпинделя и диаметра фрезы, согласно формуле

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = 150 \div 250 \text{ м/мин.} \quad (24)$$

при этом диаметр фрезы  $D = 150$  мм; число оборотов шпинделя  $n = 350 \div 500$  об/мин.

Таким образом, анализ формулы (21) и (22) показывает, что при уменьшении подачи инструмента существенно снижается сила резания и скорость фрезерования, что позволяет уменьшить интенсивность износа инструмента и обеспечить заданную величину стойкости фрезы.

### Выводы

1. С увеличением скорости сверления (рис. 1) в диапазоне от 25 м/мин до 80 м/мин осевая сила постепенно уменьшается и далее происходит относительная их стабилизация.

Увеличение скорости сверления (рис. 2) при тех же пределах от 25 м/мин до 80 м/мин приводит к уменьшению крутящего момента.

2. Экспериментальное исследование (рис. 4) при фрезеровании показало, что величина износа инструмента по задней грани нелинейно зависит от скорости фрезерования и времени обработки: износ более интенсивно происходит при малых скоростях фрезерования, а стойкость инструмента снижается с увеличением скорости фрезерования (рис. 5).

3. Установление функциональной связи сил резания и крутящего момента в зависимости от подачи инструмента и скорости резания позволяет автоматизировать процесс управления режимами работ станков, позволяющее повысить точность обработки и стойкость инструмента.

### Список литературы

1. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов. М.: Маш-е, 2001. 440 с.
2. Кадыров И.Ш., Темирбеков Ж., Турусбеков Б.С., Давлятов У.Р. Разработка математической модели гидросуппорта станка с инерционным регулятором // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 11–2.
3. Карпов А.В. К вопросу повышения энергетической эффективности технологических процессов обработки резанием // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 3–1. С. 43–47.
4. Горбина Н.Н., Солопова А.С. Теория автоматического управления: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа. 2010. 201 с.
5. Рождественский Л.А. Зависимость скорости резания и стойкости от подачи при скоростном фрезеровании // Научно-техн. журнал «Станки и инструменты». 2011. № 9. С. 17–21.

УДК 625.739

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ НА ОБЪЕЗДНЫХ УЧАСТКАХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Молдалиев Э.Д.

*Нарынский государственный университет им. С. Нааматова, Нарын, e-mail: egem66@rambler.ru*

В статье рассмотрены вопросы организации кольцевого пересечения на пересечениях дорог, где организована объездная дорога населенных пунктов. Объектом исследования выбрана горная международная автомобильная дорога Бишкек – Нарын – Торугарт, объезжающая с. Кочкор. Дана характеристика на горных дорожных условиях, а также на рассматриваемого узла. Изучены режимы движения автомобилей и причины дорожно-транспортных происшествий на горных дорогах. Определены задачи исследования. Для этой цели нами проведены работы по изучению проектно-технической документации данной дороги, измерены геометрические параметры пересекающихся дорог на месте, а также получены данные со спутника. Изучены методики исследования режимов движения транспортных потоков на пересечениях дорог в одном уровне. Определена интенсивность движения автомобилей по каждому из направлений на стационарных постах, установлен состав транспортного потока. Составлена условная картограмма интенсивности движения, проведен расчет интенсивности движения применительно к легковому автомобилю, а также на въездах направлений. Совместно сотрудниками обеспечения безопасности дорожного движения (ОБДД) проведены измерения скоростных режимов транспортных средств на подходе изучаемого перекрестка. Особое внимание уделено строительству а/д «Север – Юг», которое примыкает к международной а/д Бишкек – Нарын – Торугарт около с. Кочкор, что способствует резкому увеличению интенсивности движения на рассматриваемом узле. В заключение сделаны выводы.

**Ключевые слова:** интенсивность движения, состав транспортного потока, дорожно-транспортные происшествия (ДТП), транспортное средство, Бишкек, Жумгал, Кочкор, Нарын, скоростной режим

## TO THE QUESTION OF THE USE OF CIRCLE CROSSING IN ROUNDABOUTS SECTIONS OF SETTLEMENTS

Moldaliev E.D.

*Naryn State University named after S. Naamatov, Naryn, e-mail: egem66@rambler.ru*

This article discusses the issues of circular intersection at road crossing where a bypass road settlements. The mountain international road Bishkek-Naryn-Torugart circling the village Kochkor was chosen as the object of study. The characteristic is given on mountain travelling terms, and also on the node under consideration. The modes of motion of cars and reason of road traffic accidents on mountain roads are studied. The research tasks are certain. For this purpose, we carried out work on the study of design and technical documentation of this work, measured geometric parameters of intersecting roads and also received data from satellite. Methods of studying traffic flow patterns at road intersections at the same level are studied. Traffic intensities in each of the directions on stationary posts, installed the composition of the traffic flow. A conditional cartogram of traffic intensity is made, the calculation of intensity of motion is conducted to a passenger car, and also on the entrances of directions. Defined Studied the measurement of speed modes of vehicles on the approach with the road safety staff. Based on the results, recommendation on the on the organization of the ring crossing. Particular attention is paid to the construction of the North-South road, which is adjacent to the international Bishkek-Naryn-Torugart road near the village. Kochkor, which contributes to a sharp increase in traffic intensity at the node in question. Special attention to the construction of the North-South highway, which adjoins the international road Bishkek-Naryn-Torugart near the village of Kochkor, which promotes to a quick increase in traffic intensity at the node in question. At the end conclusions are drawn.

**Keywords:** traffic intensity, composition of the traffic flow, traffic accidents, vehicle, Bishkek, Zhumgal, Kochkor, Naryn, speed mode

Кыргызстан – горная страна. Как известно, горные автомобильные дороги характеризуются сочетаниями частых крутых поворотов, продольных уклонов, особыми природно-климатическими условиями, что требует от водителей очень пристального внимания в управлении транспортным средством (ТС).

Сложность рассматриваемого узла в том, что на этом участке юго-западной части с. Кочкор расположены два У-образных пересечения с расстояниями 200 м. Первый транспортный узел обеспечивает транспортные потоки Нарын – Кочкор, Нарын – Бишкек, второй – Нарын – Кочкор, На-

рын – Жумгал (рис. 1). Транспортный узел Нарын – Кочкор, Нарын – Жумгал относится к местной автомобильной дороге, состояние удовлетворительное. Транспортный узел Нарын – Бишкек относится к международной автомобильной дороге, состояние хорошее. Оба дороги имеют по одной полосе в каждом направлении.

Отметим, что оптимизация скоростных режимов автотранспортных средств на горных дорогах является первостепенной задачей. Как показывают исследования, на горных дорогах водители стараются развивать скорость на равнинных и долинных участках. Это и является со-

путствующими причинами ДТП, связанных с превышением скоростного режима и выездом на полосу встречного движения, нарушением правил обгона, которое составляет соответственно 42% и 31%. В частности, наибольшее количество ДТП приходится на развилки около населенных пунктов, где организованы объездные дороги. Водители, которые двигались с наибольшей скоростью, становятся участниками аварийных ситуаций. С учетом этих проблем к концу 2005 г. в мире уже было построено свыше 100 тыс. кольцевых пересечений [1].

С целью получения достоверных исходных данных по объекту исследования перед нами поставлены следующие задачи:

- получение сведений об участниках движения;
- изучение геометрических характеристик и замер параметров пересекающихся дорог;
- определение интенсивности движения автомобилей и состава транспортно-го потока;
- распределение транспортных потоков по каждому из направлений;
- изучение скоростного режима ТС на подходе к узлу.

Исследование проводилось в марте 2019 г. (рис. 2).

#### Материалы и методы исследования

Известно, что перекрестки по характеру управления бывают регулируемые и нерегулируемые. Нерегулируемые перекрестки различают с неорганизованным движением, с обозначенным приоритетом и круговой схемой движения. На пересечениях магистральных дорог со средними и большими интенсивностями движения целесообразно организовать кольцевое пересечение [2]. Как отмечают авторы [3], кольцевые пересечения отличаются меньшим количеством конфликтных точек и небольшими углами слияния и переплетения транспортных потоков.

Для изучения режимов движения и установления причин ДТП на не регулируемых перекрестках магистральных дорог нами выбрана транспортный узел объездной дороги с. Кочкор расположенное на пути горной международной автомобильной дороги Бишкек – Нарын – Торугарт. Изучена проектно-техническая документация данной дороги, измерены геометрические параметры пересекающихся дорог на месте, а также получены данные со спутника. Длина объездной дороги составляет 11 км.



а)



б)



в)

Рис. 1. Вид рассматриваемого участка со спутника: а) общий вид; б) транспортный узел Нарын – Кочкор, Нарын – Жумгал; в) транспортный узел Нарын – Кочкор, Нарын – Бишкек



а)

б)

Рис. 2. Место проведения исследования: а) подготовка к проведению исследования; б) рабочий процесс

Рассматриваемые дороги проходят через поляну, вдоль дороги расположены в основном зеленые насаждения (деревья). Круглый год (кроме летнего периода) на поле и вдоль дорог находятся стада мелкого и крупного рогатого скота. Движение пешеходов практически отсутствует. Изучение интенсивности и состава транспортного потока проведено на стационарных постах.

### Результаты исследования и их обсуждение

Как показывают результаты исследования данного узла, из всех транспортных потоков 76% составляет легковые автомобили, 5,3% микроавтобусы, 4,4% и 3,8% соответственно шести и пятиосные грузовые автомобили, 3,8% грузовые автомобили до 3,5 т и 3,2% двухосные, остальные 1,5%, 1,0% приходятся соответственно на трех и четырехосные грузовые автомобили (таблица). Если группировать по типам ТС, то легковые автомобили составляют 76%, микроавтобусы – 5,3%, грузовые – 18,7%.

По известной методике определяем часовую интенсивность движения на узле, приведенную к легковому автомобилю по формуле

$$N = \sum (N_{ла} * a_{ла} + N_{га} * a_{га} + N_{автп} * a_{автп} + N_{мавтоб} * a_{мавтоб}), \quad (1)$$

где  $N_{ла}$ ,  $N_{га}$ ,  $N_{автп}$ ,  $N_{мавтоб}$  – часовые интенсивности легковых автомобилей, грузовых автомобилей до 3,5 т, грузовых автомобилей повышенной грузоподъемности и автопоездов, микроавтобусов, авт/ч;

$a_{ла}$ ,  $a_{га}$ ,  $a_{мга}$ ,  $a_{автп}$ ,  $a_{мавтоб}$  – коэффициенты приведения легковых, грузовых автомобилей до 3,5 т, грузовых автомобилей по-

вышенной грузоподъемности и автопоездов, микроавтобусов.

$$N = \sum (458 * 1 + 26 * 1,5 + 89 * 2,3 + 18 * 2) = 738 \text{ авт/ч.}$$

На рис. 3 показана общая картограмма интенсивности движения на рассматриваемых узлах.

Далее определяем интенсивности движения на въездах направлений.

Например, интенсивности движения на участке въезда южного направления определяем по формуле

$$N_{вх Ю} = \sum N_{лев В-Ю} + N_{прям С-Ю} + N_{прав З-Ю}, \text{ авт/ч, } (2)$$

где  $N_{вх Ю}$  – часовая интенсивность движения на участке въезда южного направления, авт/ч;

$N_{лев В-Ю}$  – часовая интенсивность левоповоротного движения с восточного направления на южное (В-Ю), авт/ч;

$N_{прям С-Ю}$  – часовая интенсивность движения прямого пересечения, с северного направления южное (С-Ю), авт/ч;

$N_{прав З-Ю}$  – часовая интенсивность правоповоротного движения с западного направления на южное (З-Ю), авт/ч.

$$N_{вх Ю} = 45 + 27 + 18 = 90 \text{ авт/ч.}$$

По аналогичным формулам вычисляем интенсивности движения на участках входа восточного  $N_{вх В}$ , северного  $N_{вх С}$ , западного, ( $N_{вх З}$ ) направлений.

$$N_{вх В} = 67 \text{ авт/ч, } N_{вх С} = 60 \text{ авт/ч, } N_{вх З} = 62 \text{ авт/ч.}$$

Замер скоростных режимов (рис. 4) на подходе данного узла проведен совместно сотрудниками обеспечения безопасности дорожного движения с помощью радара «Визир», оборудованного переносной стойкой.

Интенсивность и состав транспортного потока по направлениям

Направление	Интенсивность движения, авт/сут								Всего
	Легковые	Микроавтобусы	Грузовые автомобили						
			до 3,5 т	2-ос-ные	3-ос-ные	4-ос-ные	5-ос-ные	6-ос-ные	
Восток – Запад	144	2	3	–	–	–	8	5	162
В%	88,8	1,3	1,9	–	–	–	5,0	3,0	
Восток – Юг	272	48	16	32	2	8	16	16	410
В%	66,3	11,7	3,9	7,8	0,6	1,9	3,9	3,9	
Восток – Север	72	10	8	4	14	–	32	18	158
В%	45,6	6,4	5,0	2,6	8,8	–	20,2	11,4	
Юг – Север	312	16	10	–	–	–	–	–	338
В%	92,3	4,7	3,0	–	–	–	–	–	
Юг – Восток	298	22	14	28	10	–	22	56	450
В%	66,2	4,9	3,1	6,2	2,3	–	4,9	12,4	
Юг – Запад	176	5	6	2	–	–	7	8	204
В%	86,3	2,3	3,0	1,0	–	–	3,4	4,0	
Север – Юг	356	32	22	–	–	–	–	–	410
В%	86,4	8,0	5,6	–	–	–	–	–	
Север – Запад	219	5	12	7	–	–	–	–	243
В%	90,0	2,0	5,0	3,0	–	–	–	–	
Север – Восток	44	4	–	2	16	8	14	16	104
В%	42,3	3,8	–	2,8	15,4	7,7	13,4	15,4	
Запад – Восток	169	7	6	10	5	8	11	13	229
В%	73,8	3,0	2,6	4,4	2,2	3,5	4,8	5,7	
Запад – Юг	118	6	12	8	–	4	8	7	163
В%	72,3	3,7	7,4	4,9	–	2,5	4,9	4,3	
Запад – Север	216	8	11	7	–	–	–	–	242
В%	89,2	3,3	4,5	2,9	–	–	–	–	
Всего	2396	165	120	100	47	28	118	139	3113
В%	76,0	5,3	3,8	3,2	1,5	1,0	3,8	4,4	

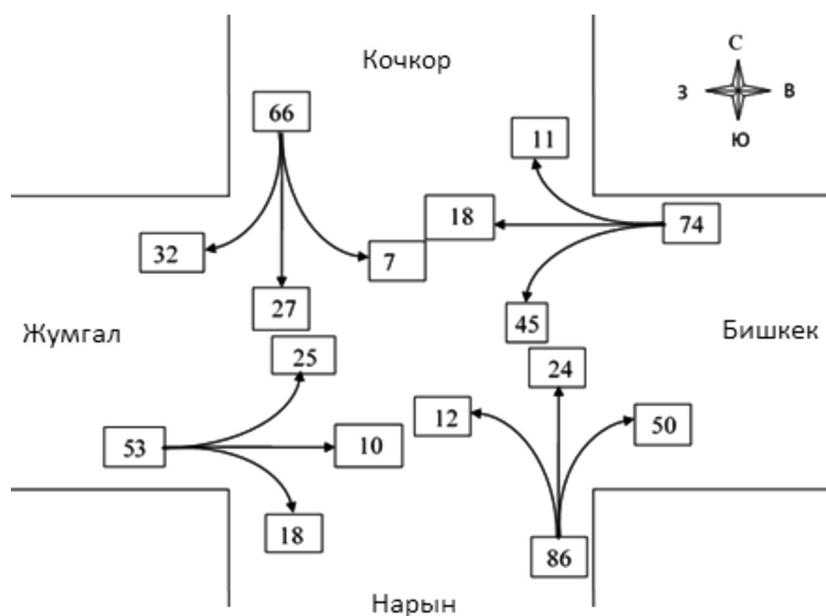


Рис. 3. Условная картограмма интенсивности движения, авт/ч



а)



б)

Рис. 4. Замер скоростных режимов ТС: а) на подходе к транспортному узлу; б) момент записи скорости движения к компьютерному блоку

Зафиксированные результаты показывают, что 38% из 300 водителей превысили установленный скоростной режим на подходе к рассматриваемому узлу.

Как было отмечено выше, исследование проводилось весной. А в горных дорогах [4], интенсивность движения достигает пика в осеннее время, когда начинается уборка сельхозугодий, реализация урожая и проведения «Тои» различного рода. Следовательно, полученные показатели результатов интенсивности движения ТС может расти минимум в два раза.

Особо следует отметить строительства а/д «Север – Юг» с общей протяженностью 448 километров, завершение которой намечается в 2021 г. [5]. Это дорога примыкает к международной а/д Бишкек – Нарын – Торугарт около с. Кочкор (рис. 5), что, несомненно, ожидается также резкое увеличение потоков ТС с Ошской, Джалал-

Абадской, Баткенской областей в сторону Нарынской (Юг), Иссык-Кульской (Восток) и Чуйской (Север) областей.

Как показывает анализ, на данном узле частой причиной ДТП является превышение установленной скорости движения и несоблюдение требований знаков приоритета. Тяжести последствий от ДТП, также можно заметить из памятных табличек, установленных вдоль дороги на подходе узла.

В заключение следует отметить, что на рассматриваемых узлах выполнены следующие работы:

- произведен замер геометрических параметров транспортного узла;
- проведен подсчет интенсивности движения ТС по направлениям и установлена состав транспортного потока;
- определена часовая интенсивность движения на узле;



Рис. 5. Альтернативная а/д «Север-Юг»

– составлена картограмма интенсивности движения и определено количество ТС на въездах направлений транспортно-го узла;

– проведен замер скоростей движения ТС на подходе к транспортному узлу.

Учитывая результаты проведенных исследований и прогноза повышения интенсивности движения, является целесообразным организация кольцевого пересечения на 241 километре а/д Бишкек – Нарын – Торугарт.

Для этой цели нами планируется определение соответствия пропускной способности прогнозируемой интенсивности движения, дальнейшее изучение закономерностей движения транспортных потоков по периодам года, особенностей дорожных условий и разработка проекта организации кольцевого пересечения в соответствии с техническим стандартом Таможенного союза и другими зарубежными национальными стандартами [6].

### Список литературы

1. Щит Б.А. Проблемы проектирования кольцевых пересечений в одном уровне // Наука и техника в дорожной отрасли. 2012. № 3. С. 3–6.

2. Зедгенизов А.В., Лагеров Р.Ю., Левашев А.Г., Липницкий А.С., Михайлов А.Ю., Шаров М.И. Современные кольцевые пересечения // Иркутский государственный технический университет, 2009. 106 с. Деп. в ВИНТИ. 24.12.2009. № 823.

3. Бойков В.Н., Субботин С.А. Анализ дорожно-транспортных происшествий с использованием ГИС IndorRoad // САПР и ГИС автомобильных дорог 2014. № 1 (2). С. 74–76.

4. Молдалиев Э.Д. Дорожно-транспортное происшествие как источник смертности и травматизма // МПК научно «Транспортно-технологическое конференция комплексу – энергоэффективную альтернативу». Воронеж, 2016. Т. 3. Вып 1. С. 278–280.

5. Строительство автомобильной дороги Север – Юг. [Электронный ресурс]. URL: <http://kabar.kg/news/doroga-sever-iug-samyi-masshtabnyi-proekt-kyrgyzstana> (дата обращения: 15.12.2019).

6. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по проектированию кольцевых пересечений при строительстве и реконструкции автомобильных дорог. (Федеральное дорожное агентство. Росавтодор г. Москва). М., 2016. 166 с.

УДК 655.3

## СРАВНЕНИЕ УФ-ПЕЧАТИ И СУБЛИМАЦИОННОЙ ПЕЧАТИ В ГОРОДЕ МАГНИТОГОРСКЕ

Смирнова А.В., Савина В.Е.

*Магнитогорский государственный технический университет, Магнитогорск,  
e-mail: a-kremneva@mail.ru, vsavina99@gmail.com*

В данной статье был проведен сравнительный анализ рынка ультрафиолетовой (УФ) печати и сублимационной печати в г. Магнитогорске. Сублимационная печать – способ окрашивания материалов с особым тонконанесенным полимерным слоем, позволяющий получать яркие насыщенные окраски, устойчивые к воздействию окружающей среды. При УФ-печати используются УФ-отверждаемые чернила, которые фотополимеризуются под воздействием ультрафиолетового излучения, образуя плёнку на запечатываемом материале. Полученные таким образом изображения также устойчивы к внешним факторам окружающей среды. Это важно для применения продукции на открытом пространстве и/или при длительном использовании. Также в статье рассматривалась возможность применения видов печати, перечисленных выше, к различным материалам и разным объемам тиража. Даны рекомендации начинающим представителям малого бизнеса в области полиграфии о том, что сублимационную печать оптимально использовать для выпуска продукции небольших размеров в малых тиражах, а УФ-технология печати целесообразна к применению для широкоформатной или многотиражной продукции. Проведенный анализ показал, что при печати на сувенирной продукции лучше использовать сублимационную технологию, тогда как рекламный бизнес окупится с помощью применения УФ-принтеров.

**Ключевые слова:** сублимационная печать, ультрафиолетовая печать, запечатываемый материал, чернила, тираж

## COMPARISON OF UV-PRINTING AND SUBLIMATION PRINTING IN MAGNITOGORSK

Smirnova A.V., Savina V.E.

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: a-kremneva@mail.ru,  
vsavina99@gmail.com*

The authors made a thorough analysis of the ultraviolet (UV) printing and sublimation printing problem in Magnitogorsk. Sublimation printing is a method of coloring different materials with a special polymer layer. It allows to obtain bright colors which are resistant to environmental influences. UV-inks are used during UV printing. Inks are photopolymerized under the influence of ultraviolet radiation, forming a film on the printed material. The obtained images show resistance to external environmental factors too. This is important for outdoor use and / or long-term use. The article also considered the possibility of applying the this types of printing to various materials and different circulations. Recommendations are given to novice of small businesses in the printing industry: sublimation printing is best used for small-sized products in small circulation, and UV printing technology is suitable for large-format or multi-print products. The analysis showed printing on souvenir products it is better to use sublimation technology, while the advertising business will pay off by using UV printers.

**Keywords:** sublimation printing, ultraviolet (UV) printing, printed material, ink, circulation

В небольших периферийных городах организациям, занимающимся печатью, нельзя ориентироваться только на узкие спектры полиграфического рынка – чем шире спектр предлагаемых полиграфических услуг, тем рентабельнее предприятие. А поскольку изготовление полиграфической рекламной продукции в последнее время стало одним из самых востребованных направлений, то вопрос о том, какую печатную технологию выгоднее использовать в конкретной сфере, становится все более актуальным.

В Магнитогорске, как небольшом региональном пункте, по данным компании «Продвижение» широко развита печать в рекламном секторе, а также печать сувенирная и интерьерная [1]. Здесь наибольшей популярностью пользуются сублима-

ционная и УФ-печать, поскольку данные методы переноса изображения обладают особыми преимуществами перед другими печатными технологиями – получение качественного фотографического рисунка на практически любом запечатываемом материале при низкой себестоимости производимого изделия [1]. УФ-печать подробно описана в [2]. В данной статье рассмотрим подробнее сублимационную печать.

Цель исследования: сравнительный анализ сублимационной и УФ-печати для формулировки рекомендаций представителям малого бизнеса в области полиграфии и рекламы в небольших городах. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

– произвести обзор технологии и особенностей сублимационной печати;

– дать представление о материалах и оборудовании, используемых при сублимационной печати;

– рассмотреть области применения сублимационной и УФ-печати;

– провести сравнительный анализ сублимационной и УФ-печати по сферам применения, стоимости расходных материалов и оборудования, достоинствам и недостаткам.

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

В работе использовались как эмпирический метод научного исследования (сравнение), так и теоретический (анализ). Таким образом, был выполнен поиск источников, произведена систематизация информации и дан сравнительный анализ сублимационной и УФ-печати. За критерии сравнения были приняты: виды запечатываемых материалов, стоимость расходных материалов и оборудования, а также преимущества и недостатки рассматриваемых печатных технологий.

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

Сублимационная печать – печать, при которой краска при температуре 180–200 °С и давлении переходит с матовой бумаги на окрашиваемую поверхность.

Сублимация (возгонка) – переход вещества из твердого состояния в газообразное без пребывания в жидком состоянии.

Печать наносится на изделия, которые не боятся термообработки, синтетические белые ткани (на цветных цвет ткани смешивается с цветом печати), сувенирная продукция, обработанная сублимационным лаком.

Метод сублимационной печати (термопереноса) завоевал популярность благодаря высокой скорости и дешевизне процесса, хорошему качеству переноса изображения. Технология предусматривает использование специальных сублимационных чернил и особой бумаги, не впитывающей их, а удерживающей на поверхности.

Сублимационная печать может быть использована на самых разных материалах – искусственных тканях, стекле, керамике, металле. Основное условие получения качественного результата – это ровная поверхность, на которую предстоит перенести изображение. С этой целью все поверхности, кроме тканей, предварительно обрабатывают специальным сублимационным составом.

Использование сублимационной печати применительно к тканым материалам имеет некоторые ограничения. Термоперенос возможен лишь на синтетических тканях или в крайнем случае на материалах с содержанием искусственных волокон не менее 50%.

Сублимационной печати подвергаются самые разнообразные изделия:

– Текстильные изделия – включая майки, состоящие на 100% из полиэстера, коврики для мыши, флаги, канва и многие другие наименования.

– Керамика с покрытием – включая кружки и плитку.

– Металлы с покрытием – такие как номерные знаки на автомобилях, значки.

– Стеклопластик – он содержит полимер и может выдерживать воздействие высоких температур, что делает его идеальным носителем. Он легко может быть формован и обрезан. Из него может быть произведено множество продуктов, таких как брелки для ключей, ярлыки для багажа, дверные значки, номерные знаки и так далее.

– Древесина с покрытием – включая значки, деревянные изразцы, составные картины и так далее.

Существуют машины для прямой сублимационной печати, когда краситель наносится непосредственно на изделие, например ткань. Эти машины довольно дороги и предназначены для масштабных тиражей. Мы же в своей работе будем использовать промежуточное звено – печать изображения на бумагу, с последующим переносом этого изображения на заготовку будущего изделия – майку, кружку, тарелку или что-то другое. При таком способе переноса используется недорогое оборудование и даже единичный заказ становится рентабельным, то есть выгодным. Весь процесс сублимационной печати можно сформулировать так – это печать на цветном струйном принтере, специальными чернилами на специальной бумаге с последующим переносом изображения в специальном прессе на специально подготовленную поверхность [3].

Для простоты понимания, разложим весь процесс на несколько шагов:

– Изображение распечатывается на специальной бумаге с помощью струйного принтера сублимационными чернилами. При этом изображение обязательно печатается в зеркальном отображении. Если этого не сделать, то надписи на изделии не будут правильно читаться.

– Отпечатанное изображение сушится при комнатной температуре 15–20 мин. Чернила должны высохнуть, чтобы не пачкать изделие и не размазываться при случайном прикосновении.

– Отпечатанное и высушенное изображение размещается на поверхности заготовки и закрепляется на ней с помощью термоскотча, чтобы оно случайно не сдвинулось. Он не оставляет следов и может быть использован многократно. Нельзя использовать обычный или малярный скотч.

Он просто не пригоден для таких температур (190–200 °С). Оставленные им отпечатки клея безвозвратно испортят изделие.

– Заготовка с закрепленным на ней отпечатком помещается в термопресс, в котором заранее выставлены температура и время переноса. Обычно встроенный в термопресс таймер автоматически отсчитывает время, по прошествии которого раздается звуковой сигнал. После чего изделие готово [4].

Этот же метод с точки зрения физико-химических процессов выглядит следующим образом: под воздействием давления и особого температурного режима, поддерживаемого печатной головкой, частицы краски из жидкого состояния переходят в газообразное, после чего происходит связывание их с полимером и последующий обратный переход в твердое состояние [5].

Для сублимационной печати нужен обычный струйный принтер с пьезоэлектрической печатающей головкой. Картриджи такого принтера оснащены пьезоэлектрическим кристаллом, который приводит в движение металлическую пластину, выталкивающую через сопла микроскопические капли чернил на носитель. Капля вылетает из сопла как ядро из катапульты, при этом чернила не нагреваются.

Что касается термоструйного способа печати, то он не подходит для сублимационных чернил, которые при нагреве до 160 °С переходят в газообразное состояние. В картридже с термоструйной технологией печати, предполагающей кипение чернил, красящие вещества при нагреве улетучатся и осядут на внутренних стенках картриджа, так и не попав на носитель.

Для сублимационной печати необходимы специальные сублимационные чернила, в состав которых входят нерастворимые в воде (гидрофобные) красители. Такие чернила, сходные по физическим свойствам и функциональным характеристикам с пигментными чернилами, продуцируют яркие и красочные отпечатки, устойчивые к солнечным лучам и трению. Сублимационные чернила имеют мелкодисперсную структуру, похожую на пигментные чернила. Их красители практически невозможно растворить в воде, они обеспечивают великолепное закрепление и химическую стойкость, реалистичную цветопередачу, простоту использования, отличаются адекватным соотношением цены и качества.

К преимуществам сублимационных чернил можно отнести простоту их использования, высокое (фотографическое) качество получаемых изображений, яркие, насыщенные цвета, экологическую безопасность и экономичность. К недостаткам

сублимационных чернил следует отнести ограниченную цветовую гамму тканей и заготовок (они должны иметь белый цвет или светлый оттенок), способность закрепляться только на синтетических тканях с содержанием полиэстера не менее 50%, необходимость нанесения базового полимерного слоя на твердые носители (керамику, дерево, стекло, камень, металл). Сублимационные чернила имеют неяркий, но достаточно неприятный и стойкий запах [6, 7].

Для сублимационной печати также используется и специальная сублимационная бумага с полимерным покрытием. Попадая на носитель, чернила вплавляются в полимерный слой и закрепляются в нём, не проникая в глубинные слои бумаги. Когда бумага с чернильным отпечатком попадет в термопресс, чернила с полимерами благополучно перейдут на поверхность изделия, оставив на бумаге лишь бледный отпечаток от некогда пребывавшего на ней изображения [8].

Спорным является вопрос об использовании для сублимационной печати офисной бумаги или матовой фотобумаги. Такие типы бумаги не имеют специального слоя полимеров, поэтому часть чернил, попадая на их поверхность, проникает вглубь промежуточного носителя, а впоследствии не переходит на запечатываемые пазлы. На рис. 1 представлен наглядный пример закрепления сублимационных чернил на различных типах бумаги.

Из рис. 1 видно, что только специальная сублимационная бумага обеспечивает надёжное закрепление чернил в слое полимеров. На матовой фотобумаге чернила расплываются, а на обычной бумаге – впитываются вглубь носителя, следовательно, получить высококачественные сублимационные отпечатки при помощи не специализированной бумаги невозможно.

При всех достоинствах сублимационной бумаги стоит сказать о ее мелких недостатках. Из-за покрытия, нанесенного на данную бумагу, она приобретает ряд отрицательных свойств. Возможно, от избыточной сухости воздуха в рабочем помещении, данная бумага начинает скручиваться. Замечено, что зимой, в отопительный сезон это проявляется особенно сильно. Однако этот недостаток можно устранить, применяя бумагу с введением специального полимерного состава не на ее поверхность, а в объем, т.е. используя некоторый композиционный материал для придания ей гидрофобных свойств. Улучшение комплекса физико-механических свойств является главной задачей при создании таких композиционных материалов [9].

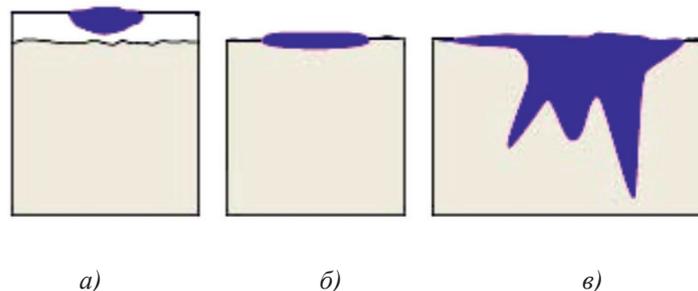


Рис. 1. Закрепление сублимационных чернил на различных видах бумаги [5]:  
а) сублимационная бумага; б) матовая фотобумага; в) обычная бумага



Рис. 2. Термопрессы для сублимационной печати

Сравнительный анализ УФ и сублимационной печати [9, 11]

	Сублимационная печать	УФ-печать
Запечатываемые материалы	Пластик, пленка, стеклопластик, холст; стекло, керамика, металл, дерево, кожа, покрытые специальным лаком; синтетические ткани	Стекло, металл, керамика, дерево, пластик, кожа, пленка, ткань, в том числе баннерная и армированная
Достоинства	– фотореалистичность; – долговечность; – широкий спектр изделий; – экологичность и безопасность для человека; – малое время изготовления; – печать широкого спектра изделий с помощью одного термопресса	– фотореалистичность; – широкий спектр изделий; – непосредственное нанесение печати; – экологичность; – автоматизированный процесс
Недостатки	– необходимость специального покрытия; – смешение цвета краски с цветом подложки (печать на белых изделиях); – непрямая печать через сублимационную бумагу; – возможность ошибок из-за человеческого фактора	– продолжительное время изготовления; – использование специальных УФ-сушилок; – целесообразность только малых тиражей
Стоимость расходных материалов и оборудования: – чернила (1 л), руб. – бумага, руб. – оборудование : Термопресс, руб. Принтер, руб.	200–5 000 300–5 000  5 000–30 000	500–8 000 –  125 000–950 000
Итого:	5 500–40 000	125 500–958 000

Для сублимационной печати используется термопресс – аппарат, оснащенный двумя термоподшвами, между которыми зажимается будущее изделие с промежуточным носителем.

На рис. 2 представлены некоторые модели термопрессов для сублимационной печати на плоских заготовках.

Термопресс прогревает заготовку, и чернила сублимируются, переходят в газообразное состояние, закрепляясь на поверхности изделия.

По различным данным [1, 10], в Магнитогорске функционируют 10–20 компаний, специализирующихся на сублимационной печати, что значительно меньше числа предприятий, занимающихся УФ-печатью. Это может объясняться ассортиментом запечатываемых материалов и видом используемого оборудования. Сублимационная печать повсеместно распространена только для сувенирной продукции, которая подобрана под конкретный вид оборудования. Например, благодаря струйному механизму УФ-печати, возможна печать на ручках. Для сублимационной печати нужно подбирать оборудование, так как печать на такого рода изделиях невозможна на термопрессах, рассмотренных выше.

Сравнительный анализ сублимационной и УФ-печати представлен в таблице.

Исходя из общей стоимости расходных материалов и оборудования, можно сделать вывод о том, что сублимационную печать оптимально использовать для печати продукции небольших размеров в малых тиражах (футболки, бейсболки, кружки, брелки и т.д. под заказ клиента), а УФ печать – для широкоформатной или многотиражной продукции.

### Заключение

Таким образом, проведенный сравнительный анализ показал, что при различных тиражах печати на сувенирной продукции целесообразно использовать сублимационную технологию печати, тогда как рекламный бизнес окупится с помощью

УФ-технологии. Данная статья является существенной помощью для начинающего предпринимателя, желающего связать свое дело с печатью и рекламой.

### Список литературы

1. РПК «PRO-Движение» [Электронный ресурс]. URL: <http://ra-promotion.ru> (дата обращения: 25.11.2019).
2. Бодьян Л.А., Кремнева А.В. Сегмент УФ-печати в провинциальном городе // Технические науки: теория и практика: материалы II международной научной конференции (Чита, 20–23 января 2014 г.). Казань: Издательство «Молодой ученый», 2014. С. 88–90.
3. Беляева Н. Сублимационная печать: сферы использования, достоинства и недостатки // «Флекс Плюс». 1999. № 6 (12). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kursiv.ru/flexoplus/archive/12/sublime1.html> (дата обращения: 25.11.2019).
4. Что такое сублимационная печать // СублиМастер [Электронный ресурс]. URL: <https://sublimaster.ru/sublimaciya-s-chego-nachat/chto-takoe-sublmacionnaya-pechat.html> (дата обращения: 25.11.2019).
5. Сублимационная печать // Печатный салон «Шторм-Техно» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stormstudio.ru/o-poligrafii-i-dizajne/sublimaczionnaya-pechat> (дата обращения: 25.11.2019).
6. Третьякова А.Е., Сафонов В.В., Зиновьева В.В. Разработка чернил для сублимационной и термотрансферной цифровой печати // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы. 2019. № 1–1. С. 113–115.
7. Сублимационные чернила // Orgprint. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.orgprint.com/wiki/sublimacionnaja-pechat/chernila-sublmacionnye> (дата обращения: 25.11.2019).
8. Сравнение бумаги для сублимации // Форум сайта «Sublimaster.ru». 2013. [Электронный ресурс]. URL: <https://forum.sublimaster.ru/viewtopic.php?t=394&start=390> (дата обращения: 25.11.2019).
9. Мишурина О.А. Исследование процессов гидрофобизации и упрочнения композиционных материалов на основе вторичной целлюлозы // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 77-й международной научно-технической конференции (Магнитогорск, 22–26 апреля, 2019 г.). Магнитогорск: Издательство Магнитогорского государственного технического университета Г.И. Носова, 2019. Т. 10. № 1. С. 120–123.
10. Сублимационная печать // Магнитогорск. Твоя справка. [Электронный ресурс]. URL: [http://magnitogorsk.tvoyaspravka.ru/categories/sublimacionnaya\\_pechat](http://magnitogorsk.tvoyaspravka.ru/categories/sublimacionnaya_pechat) (дата обращения: 25.11.2019).
11. Дмитрев А.Г., Лукьянчиков С.А., Саркисов Ю.С. Декоративно-художественное оформление строительных материалов с помощью УФ-печати // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 4. С. 54–61.

УДК 629.3.082

## К ВОПРОСУ О БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Шатманов О.Т., Исманов Ю.Х., Айдаралиев Ж.К., Барпиев Б.Б.

*Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры  
им. Н. Исанова, Бишкек, e-mail: i\_yusupjan@mail.ru*

Беспроводная зарядка электромобилей в режиме движения транспортного средства позволяет максимально увеличить длину пробега этого электромобиля. Однако часто, особенно в сложных дорожных условиях, важнейшим фактором длительности движения транспортного средства является оптимальная система подзарядки. То есть задача сводится к возможности управления режимом подзарядки зарядных станций непосредственно из электромобиля. В данной статье предлагается схема управления режимом подзарядки, в которой используется только информация, имеющаяся в транспортном средстве. Указанная схема позволяет оценить напряжение зарядки на стороне зарядной станции, используя характеристики напряжения, тока и мощности, выводимые на контрольные устройства электромобиля. Если говорить о широко используемых методах беспроводной зарядки электромобилей, то они основываются на регулировании характеристик зарядки электромобиля на стороне транспортного средства, как следствие необходимости подстройки к характеристикам наземной зарядной станции. Характеристики зарядки наземного устройства, в свою очередь должны подстраиваться под эталонные значения. Все это в конечном счете приводит к значительному усложнению наземных станций зарядки электромобилей. Предлагаемая схема позволяет проводить оценку напряжения на стороне зарядной станции, что позволяет исключить регулирование напряжения от зарядных станций. Наземные станции при этом значительно упрощаются.

**Ключевые слова:** электромобиль, беспроводная зарядка транспортных средств, регулирование напряжения, мощность зарядки, напряжение, ток

## TO THE QUESTION OF A WIRELESS ENERGY TRANSMISSION SYSTEM FOR ELECTRIC CARS

Shatmanov O.T., Ismanov Yu.Kh., Aydaraliev Zh.K., Barpiev B.B.

*Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov,  
Bishkek, e-mail: i\_yusupjan@mail.ru*

Wireless charging of electric vehicles in vehicle driving mode allows you to maximize the mileage of this electric vehicle. However, often, especially in difficult road conditions, the most important factor in the duration of the vehicle is the optimal recharging system. That is, the task boils down to the ability to control the charging mode of charging stations directly from an electric vehicle. This article proposes a charging mode control scheme that uses only the information available in the vehicle. This scheme allows you to evaluate the charging voltage on the side of the charging station, using the characteristics of voltage, current and power output to the control devices of the electric vehicle. If we talk about the widely used methods of wireless charging of electric vehicles, they are based on regulating the charging characteristics of the electric vehicle on the vehicle side, as a consequence of the need to adjust to the characteristics of the ground charging station. The charging characteristics of the ground device, in turn, must be adjusted to the reference values. All this, ultimately, leads to a significant complication of ground-based charging stations for electric vehicles. The proposed circuit allows the assessment of voltage on the side of the charging station, which eliminates the regulation of voltage from the charging stations. Ground stations are greatly simplified.

**Keywords:** electric car, wireless charging of vehicles, voltage regulation, charging power, voltage, current

Электромобили (электромобили) имеют не только экологические преимущества, но также более широкие возможности контроля движения. Их электродвигатели обладают преимуществами более быстрого и точного отклика на крутящий момент по сравнению с двигателями внутреннего сгорания [1–3]. Тем не менее электромобили необходимо часто заряжать из-за их ограниченного пробега после зарядки. Поэтому важным моментом при эксплуатации электромобилей является наличие широкой сети зарядных устройств, подзарядка на которых должна максимально снизить нагрузку на пользователя [4–6].

Беспроводная передача энергии (БПЭ) может облегчить сложные операции зарядки посредством исключения использования проводки. В последние годы динамическая система БПЭ для электромобилей привлекает все большее внимание. Эта система позволит увеличить дальность пробега электромобилей после каждой зарядки и уменьшить размеры аккумуляторов электромобилей. Однако при применении электромобилей на неровных дорогах и на больших расстояниях важно максимально упростить наземные сооружения зарядки электромобилей. Кроме того, очень эффективная и стабильная подача энергии должна

быть достигнута независимо от изменения положения приемника, который оборудован в транспортном средстве. БПЭ посредством магнитно-резонансной связи может обеспечить высокоэффективную передачу на расстояния до двух десятков см и обладает устойчивостью к смещению передатчика и приемника. Эффективность передачи и мощность зарядки определяются не только параметрами передатчика и приемника, но и нагрузкой. Состояние нагрузки можно контролировать с помощью преобразователя постоянного тока на стороне электроавтомобиля. То есть возможно регулирование напряжения на стороне транспортного средства для максимизации эффективности [7–9]. Однако этот метод управления должен также регулировать напряжение на наземных устройствах зарядки, что приводит к их значительному усложнению. Поэтому желательно использовать метод управления, основанный на оценке напряжения только со стороны наземных устройств зарядки с использованием только информации об электроавтомобиле. Такой способ позволяет контролировать мощность зарядки независимо от напряжения на наземных устройствах зарядки, поэтому исключается необходимость его регулирования. В результате наземные объекты могут быть упрощены.

*Беспроводная передача энергии посредством магнитно-резонансной связи*

В качестве эффективной системы зарядки предполагается использовать топологию последовательных схем БПЭ посредством магнитно-резонансной связи, эквивалентная схема которой показана на рис. 1.

Передатчик и приемник, удаленные друг от друга на расстояние порядка нескольких см (фиксация расстояния осуществ-

лялась интерферометрическими методами [10–12]), включают индуктивности  $L_1$ ,  $L_2$ , последовательно-резонансные емкости  $C_1$ ,  $C_2$  и внутренние сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ .  $L_m$  – взаимная индуктивность между  $L_1$  и  $L_2$ .  $V_1$  и  $I_1$  – среднеквадратичные напряжение и ток на базовой стороне, в качестве которой берется наземная часть зарядной системы.  $V_2$  и  $I_2$  обозначают среднеквадратичные напряжение и ток на вторичной стороне, т.е. на стороне транспортного средства.  $R_L$  – сопротивление нагрузки. Передатчик и приемник подобраны так, чтобы удовлетворять уравнению, которое записывается следующим образом:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}, \quad (1)$$

где  $\omega_0$  – циклическая частота источника питания.

Отношения напряжений  $A_V$  и токов  $A_I$  между наземной стороной и транспортным средством описываются следующим образом:

$$A_V = j \frac{\omega_0 L_m R_L}{R_1 R_2 + R_1 R_L + (\omega_0 L_m)^2}, \quad (2)$$

$$A_I = j \frac{\omega_0 L_m}{R_2 + R_L}. \quad (3)$$

В этом случае эффективность передачи  $\eta$  можно записать следующим образом:

$$\eta = \frac{(\omega_0 L_m)^2 R_L}{(R_2 + R_L) \{R_1 R_2 + R_1 R_L + (\omega_0 L_m)^2\}}. \quad (4)$$

Величина нагрузки определяется соотношением

$$P = \frac{A_V^2}{R_L} V_1^2. \quad (5)$$

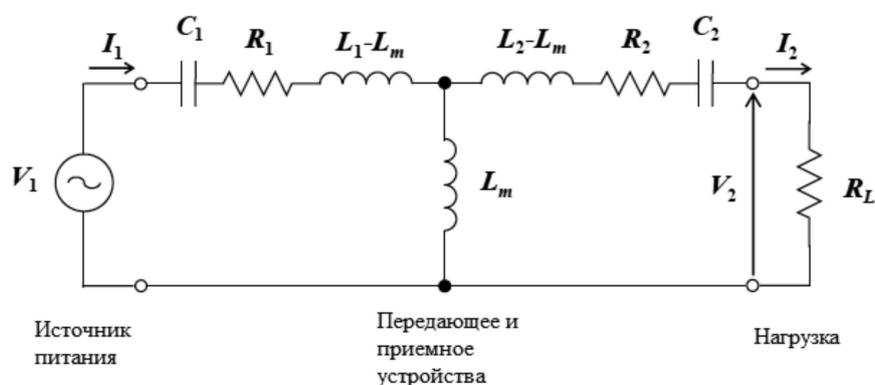


Рис. 1. Схема беспроводной передачи энергии через магнитно-резонансную связь

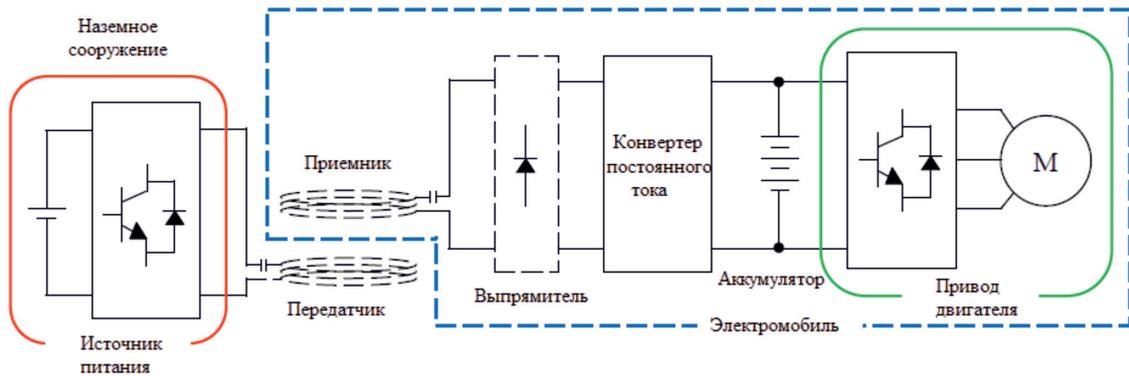


Рис. 2. Конфигурация системы управления мощностью на стороне транспортного средства

Эффективность передачи и мощность нагрузки определяются параметрами катушки, резонансной частотой и сопротивлением нагрузки. Когда эффективность передачи максимальна, сопротивление нагрузки  $R_{L\eta_{\max}}$  можно выразить следующим образом:

$$R_{L\eta_{\max}} = \sqrt{R_2 \left[ \frac{(\omega_0 L_m)^2}{R_1} + R_2 \right]}. \quad (6)$$

Мощность нагрузки максимальна, когда сопротивление нагрузки  $R_{LP_{\max}}$  определяется следующим образом (см. формулу (5)):

$$R_{LP_{\max}} = \frac{(\omega_0 L_m)^2}{R_1} + R_2. \quad (7)$$

*Контроль напряжения на стороне электромобиля*

Из рис. 1 видно, что эквивалентное сопротивление нагрузки увеличивается в ответ на увеличение вторичного напряжения (напряжение со стороны электромобиля).

Вторичное напряжение  $V_{2\eta_{\max}}$ , которое максимизирует эффективность передачи, описывается следующим образом:

$$V_{2\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1} \frac{\omega_0 L_m}{\sqrt{R_1 R_2 + (\omega_0 L_m)^2} + \sqrt{R_1 R_2}}} V_1. \quad (8)$$

Чтобы достичь максимальной эффективности, система управления вторичным напряжением должна быть сконструирована таким образом, чтобы удовлетворить уравнению (8).

Управление мощностью также может быть достигнуто контролем вторичного напряжения [13–15]. Однако он эффективен только в том случае, если вторичное напря-

жение контролируется ниже максимального вторичного напряжения  $V_{2\max}$ , которое выражается следующим образом:

$$V_{2\max} = \frac{\omega_0 L_m}{R_1} V_1. \quad (9)$$

Затем эквивалентное сопротивление нагрузки стремится к бесконечности и отношение  $A_v$  напряжения становится насыщенным. Максимальная мощность получается, когда вторичное напряжение  $V_{2P_{\max}}$  задано следующим образом:

$$V_{2P_{\max}} = \frac{\omega_0 L_m}{2R_1} V_1 = \frac{1}{2} V_{2\max}. \quad (10)$$

Для достижения требуемой мощности  $P^*$ , разработана система контроля вторичного напряжения. На рис. 2 показана конфигурация системы для управления мощностью на стороне транспортного средства. Преобразователь постоянного тока может управлять выходным напряжением выпрямителя. Как результат, можно также контролировать вторичное напряжение. Для эффективной передачи важно определить рабочий диапазон вторичного напряжения, который должен быть ниже  $V_{2P_{\max}}$ . В результате эталонное значение вторичного напряжения  $V_2^*$  может быть выражено следующим образом:

$$V_2^* = V_{2P_{\max}} - \sqrt{V_{2P_{\max}}^2 - \frac{\{R_1 R_2 + (\omega_0 L_m)^2\} P^*}{R_1}}. \quad (11)$$

$V_2^*$  включает в себя информацию о первичном напряжении  $V_1$  (от источника питания на земле). Однако нежелательно требовать связи между транспортным средством и наземным оборудованием и регулировать

первичное напряжение. Поэтому целью является метод оценки первичного напряжения с использованием только информации об автомобиле.

Принципиальная схема системы беспроводной системы передачи энергии показана на рис. 3. При использовании топологии последовательных схем вторичный ток можно считать синусоидальной волной, колебания которой происходят на резонансной частоте с фазой, сдвинутой на 90 градусов по отношению к первичному напряжению. Если предполагается, что диоды согласованы с вторичным током, то вторичное напряжение становится прямоугольной волной, которая имеет такую же амплитуду, что и напряжение  $V_{\text{пт}}$  постоянного тока, и ту же фазу и резонансную частоту, что и вторичный ток. Следовательно, вектор вторичного напряжения определяется посредством разложения в ряд Фурье, и выражается следующим образом:

$$\vec{V}_2 = j \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{\text{пт}}. \quad (12)$$

На резонансной частоте уравнения для электрической цепи можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{V}_1 &= R_1 \vec{I}_1 + j\omega_0 L_m \vec{I}_2, \\ \vec{V}_2 &= j\omega_0 L_m \vec{I}_1 + R_2 \vec{I}_2. \end{aligned} \quad (13)$$

Следовательно, векторы токов первичной и вторичной обмоток можно записать в следующем виде:

$$\vec{I}_1 = \frac{R_2 V_1 + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \omega_0 L_m V_{\text{пт}}}{R_1 R_2 + (\omega_0 L_m)^2}, \quad (14)$$

$$\vec{I}_2 = j \frac{\omega_0 L_m V_1 - \frac{2\sqrt{2}}{\pi} R_1 V_{\text{пт}}}{R_1 R_2 + (\omega_0 L_m)^2}. \quad (15)$$

Из уравнения (15) средний ток  $I_{\text{пт}}$  от выпрямителя к преобразователю постоянного тока выражается следующим образом:

$$I_{\text{пт}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\omega_0 L_m V_1 - \frac{2\sqrt{2}}{\pi} R_1 V_{\text{пт}}}{R_1 R_2 + (\omega_0 L_m)^2}. \quad (16)$$

Если взаимная индуктивность не изменяется кардинально, первичное напряжение получается из оценочного уравнения, которое описывается следующим образом:

$$\hat{V} = \frac{\frac{2\sqrt{2}}{\pi} R_1 V_{\text{пт}} + \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \{R_1 R_2 + (\omega_0 L_m)^2\} I_{\text{пт}}}{\omega_0 L_m}. \quad (17)$$

То есть получено постоянное напряжение  $V_{\text{пт}}$  для управления вторичным напряжением. Отсюда следует, что датчик тока необходим только как дополнительный датчик для измерения входящего тока  $I_{\text{пт}}$ .

#### Выводы

В качестве эффективной системы зарядки электромобиля предложена топология последовательных схем БПЭ посредством магнитно-резонансной связи.

Рассмотрена возможность управления со стороны транспортного средства для достижения требуемой мощности и предложен метод управления, основанный на оценке напряжения на наземных устройствах, использующий только информацию на стороне транспортного средства.

Для достижения требуемой мощности, разработана система контроля напряжения на стороне транспортного средства. Показано, что преобразователь постоянного тока может управлять выходным напряжением выпрямителя. Как результат, можно также контролировать напряжение на стороне транспортного средства.

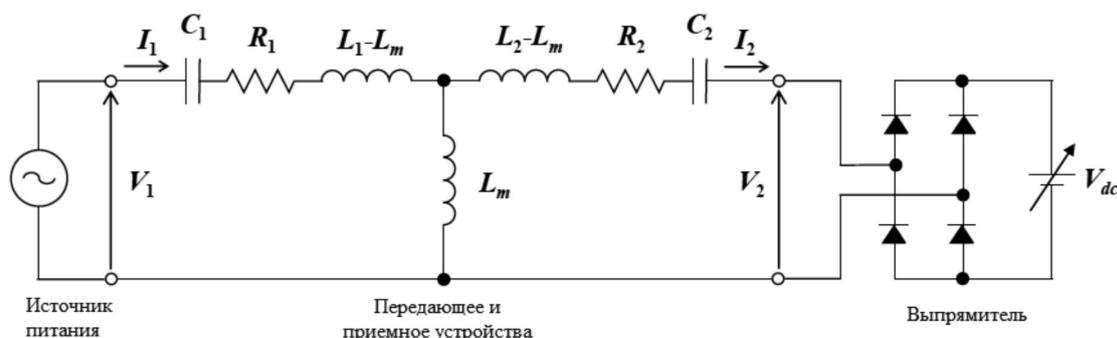


Рис. 3. Принципиальная схема беспроводной системы передачи энергии

Контроль вторичного напряжения позволяет осуществить контроль мощности источника питания, подключаемого к электромобилю, с целью выбора оптимального режима зарядки этого транспортного средства.

#### Список литературы

1. Hori Y. Future vehicle driven by electricity and control-research on four-wheel-motored «UOT electric March II». IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2004. vol. 51. no. 5. P. 954–962.
2. Yilmaz M., Buyukdegirmenci V.T., Krein P.T. General design requirements and analysis of roadbed inductive power transfer system for dynamic electric vehicle charging. Proc. of the 26<sup>th</sup> IEEE Transportation Electrification Conference and Expo. 2012. P. 1–6.
3. Raabe S., Covic G.A. Practical design considerations for contactless power transfer quadrature pick-ups. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2013. vol. 60. no. 1. P. 400–409.
4. Throngnumchai K., Hanamura A., Naruse Y., Takeda K. Design and evaluation of a wireless power transfer system with road embedded transmitter coils for dynamic charging of electric vehicles. Proc. of the 27th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition. 2013. P. 1–5.
5. Lee S., Choi B., Rim C.T. Dynamics characterization of the inductive power transfer system for online electric vehicles by Laplace phasor transform. IEEE Transactions on Power Electronics. 2013. vol. 28. no. 12. P. 5902–5909.
6. Shin J., Shin S., Kim Y., Ahn S., Lee S., Jung G., Jeon S., Cho D. Design and implementation of shaped magnetic-resonance-based wireless power transfer system for roadway-powered moving electric vehicles. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2014. vol. 61. no. 3. P. 1179–1192.
7. Nagendra G.R., Chen L., Covic G.A., Boys J.T. Detection of EVs on IPT highways. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2014. vol. 2. no. 3. P. 584–597.
8. Lee K., Pantic Z., Lukic S.M. Reflexive field containment in dynamic inductive power transfer systems. IEEE Transactions on Power Electronics. 2014. vol. 29. no. 9. P. 4592–4602.
9. Maripov A., Ismanov Y. The Talbot effect (a self – imaging phenomenon) in holography. Journal of Optics. 1994. vol. 25. no. 1. P. 3–8. DOI: 10.1088/0150-536X/25/1/001.
10. Maripov A., Ismanov Y., Omyrzakov K. Four-channel wide-range holographic interferometer. Proceedings of SPIE. 2003. vol. 5144. P. 606–610. DOI: 10.1117/12.501342.
11. Ismanov Y.Kh., Tynyshova T.D., Aidaraliev Z.K. Wide-range holographic interferometer. Optical Engineering. 2018. vol. 57. no. 12. 124106. DOI: 10.1117/1.OE.57.12.124106.
12. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесчелюевой радужной голографии // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова . 2015. № 4 (40), С. 194–198.
13. Stielau O.H., Covic, G.A. Design of loosely coupled inductive power transfer systems. Proc. of the International Conference on Power Syst. Technol. 2000. P. 85–90.
14. Исманов Ю.Х., Кулмурзаев Н.М., Тургунбаев Н.А. Регистрирующие среды для голографии и радужная голография // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. 2014. № 1. С. 83–88.
15. Covic G.A., Boys J.T. Inductive Power Transfer. Proc. of the IEEE. 2013. vol. 101. no. 6. P. 1276–1289.

## ОБЗОРЫ

УДК 691.175.5/.8

## ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Шишакينا О.А., Паламарчук А.А.

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир,  
e-mail: olya.shishakina@mail.ru*

Полимерные композиционные материалы используются в строительстве с древнейших времён. Ведь древесина, первый строительный материал, использованный человеком, представляет собой полимерный композиционный материал из волокон целлюлозы, соединённых лигнином. Современные полимерные композиционные материалы активно используются во всех отраслях строительства, постепенно вытесняя традиционные строительные материалы. Полимербетоны всё чаще используются не только для ремонта традиционных бетонных сооружений, но и как основной строительный материал для несущих конструкций. Пенопласты практически полностью заменили традиционные теплоизоляционные материалы (войлок, солому, минеральную вату) в многоэтажном строительстве. Сэндвич-панели, которые способны выполнять сразу несколько функций (несущая конструкция, теплоизоляция, гидроизоляция), активно применяются при строительстве малоэтажных быстровозводимых зданий. А древесина, хоть и продолжает использоваться в виде досок, бруса и бревен, сейчас чаще используется в переработанном виде. Применение древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит позволяет использовать для строительства отходы древесины. Использование фанеры позволяет сократить вес готовых изделий и избавиться от существенного недостатка древесины – анизотропности. Модифицирование древесины позволяет превратить низкосортные сорта древесины в прочные строительные материалы. Древесно-полимерные композиты не только позволяют сформировать любую желаемую форму готового изделия без механической обработки, но и избавиться от значительного количества полимерных и древесных отходов.

**Ключевые слова:** строительные материалы, полимерные композиционные материалы, полимербетон, сэндвич-панели, пластмассы, теплоизоляционные материалы

## REVIEW OF MODERN CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Shishakina O.A., Palamarchuk A.A.

*Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: olya.shishakina@mail.ru*

Polymer composite materials have been used in construction since ancient times. After all, wood, the first building material used by man, is a polymer composite material from cellulose fibers connected by lignin. Modern polymer composite materials are actively used in all sectors of construction, gradually replacing traditional building materials. Polymer concrete is increasingly used not only for the repair of traditional concrete structures, but also as the main building material for load-bearing structures. Foams almost completely replaced traditional heat-insulating materials (felt, straw, mineral wool) in multi-story construction. Sandwich panels that are capable of performing several functions at once (supporting structure, thermal insulation, waterproofing) are actively used in the construction of low-rise prefabricated buildings. And wood, although it continues to be used in the form of boards, beams and logs, is now more often used in processed form. The use of chipboard and fiberboard allows the use of wood waste for construction. Using plywood can reduce the weight of finished products and get rid of a significant lack of wood – anisotropy. Modification of wood allows you to turn low-quality wood grades into durable building materials. Wood-polymer composites not only allow you to form any desired shape of the finished product without mechanical processing, but also get rid of a significant amount of polymer and wood waste.

**Keywords:** building materials, polymer composite material, polymer concrete, sandwich panels, plastics, heat-insulating materials

Около 30% всех полимеров, производимых каждый год, используются в строительной отрасли [1]. Они предлагают много преимуществ по сравнению с обычными материалами, в том числе легкость, устойчивость к коррозии и простоту обработки. Применение полимеров в качестве связующих для формирования композитов позволяет получать новые материалы с улучшенными свойствами, к которым относятся легкость, прочность, химическая стойкость, низкое водопоглощение и др. [2, 3]. Полимерные композиты были впервые разработаны в 1940-х гг. для военных и аэрокосмических применений. Значительные успехи

были сделаны с тех пор в использовании полимерных композитов в строительстве. В отличие от используемых традиционных строительных материалов, полимерные композиционные материалы требуют больших усилий по разработке и более глубокого понимания материала. Свойства готового полимерного композита являются результатом процесса проектирования, который учитывает многие факторы, такие как анизотропное поведение материала, механические, термические и химические свойства компонентов. Поэтому проектирование с использованием композитов является сложным процессом, который требует

понимания технологии изготовления композита и его составных частей [4].

Цель работы: анализ современного состояния и перспектив развития различных полимерных композиционных материалов в строительстве.

### *Пенопласты*

Пенопласты являются важным полимерным композиционным материалом, полимерная матрица которого содержит большое количество крошечных пузырьков воздуха внутри. По сравнению с другими полимерными материалами, пенопласты имеют много преимуществ, таких как низкая плотность, хорошая теплоизоляция, хорошие звукоизоляционные свойства, высокая удельная прочность и устойчивость к коррозии. В настоящее время пенопласты являются одними из наиболее широко используемых полимерных материалов и играют очень важную роль в полимерной индустрии. В строительстве основной сферой применения пенопластов является теплоизоляция. В качестве теплоизоляции чаще всего применяют пенополистирол и пенополиэтилен, которые используют для утепления стен, крыш, перекрытий, а также в составе сэндвич-панелей. Реже пенопласт применяют для звукоизоляции. Подобное применение пенопласта актуально при строительстве жилых домов рядом с оживлёнными автострадами и железными дорогами, а также для специальных помещений с высокими требованиями к звукоизоляции (звукозаписывающие студии и т.п.) [5].

Пенопласты изготавливают из полимера с использованием физических или химических вспенивающих агентов. В качестве химических вспенивающих агентов используют вещества, которые при нагревании разлагаются с выделением газообразных продуктов (азота, аммиака, углекислого газа). Физическими вспенивающими агентами являются жидкости с низкой температурой кипения, пары которых вспенивают композицию во время переработки. Технологии переработки пенопластов в основном включают экструзию, заливку, прессование и литье под давлением [6]. Пенопласты подразделяются в зависимости от структуры ячеек на открытопористые, закрытопористые, интегральные и синтактные. Открытопористые – пенопласты с открытыми порами, соединёнными друг с другом и окружающей атмосферой. Примерами таких пенопластов являются пенопласты из меламинаформальдегидной и эпоксидной смолы. Закрытопористые пенопласты представляют собой пенопласты с закрытыми порами, которые не соединя-

ются друг с другом и окружающей атмосферой. В качестве примера можно привести пенополиуретан и пенополиэтилен. Интегральными являются пенопласты с закрытыми ячейками, имеющими толстый наружный слой невспененного полимера, придающий значительную жёсткость готовому изделию. Такие пенопласты чаще всего изготавливают из полипропилена. Синтактными являются пенопласты, в которых ячейки с воздухом образованы маленькими полыми шариками – микросферами. Такие пенопласты обладают значительно большей прочностью, но дороги и имеют большую плотность. Чаще всего синтактные пенопласты делают на основе реактопластов, таких как полиэфирные и кремнийорганические смолы [7].

### *Сэндвич-панели*

Сэндвич-панели представляют собой структуру, состоящую из трех слоев: сердцевины низкой плотности, и тонких наружных слоев, соединённых друг с другом. Сэндвич-панели используются в тех случаях, когда требуется сочетание высокой структурной жесткости и малого веса.

Сэндвич-панели являются примером многослойного структурированного композита: прочность и легкость этой технологии делают ее популярной и широко распространённой. Материалы сердцевины и оболочки могут широко варьироваться, а сердцевина может иметь различную структуру. В качестве наружного слоя могут быть использованы листовая металл, фанера, цемент, плиты из оксида магния или ДСП, а ядро может быть из пенополистирола, пенополиэтилена, пенополиуретана или являться составной сотовой структурой. В некоторых сэндвич-панелях используют фиброцементные или фанерные листы для панелей и отходы сельского хозяйства, такие как пшеничная солома, для сердцевины [8]. Сэндвич-панели объединяют в себе несколько компонентов обычного здания, такие как несущие элементы, теплоизоляция и пароизоляция. Они могут использоваться для многих элементов зданий, таких как наружные стены, крыша, пол и фундаментные системы [9].

Хотя панели с пенопластом начали активно использовать лишь в 1970-х гг., идея использования панелей с твёрдым наружным слоем для строительства появилась еще в 1930-х гг. Использование сэндвич-панелей обладает множеством преимуществ и имеет некоторые недостатки по сравнению с обычным каркасным зданием. Стоимость сэндвич-панелей выше, чем материалов для сопоставимого каркасного здания [10]. Хо-

рошо построенный дом с использованием сэндвич-панелей будет иметь более крепкий фундамент, а стены будут иметь более высокие теплоизоляционные свойства, что приведет к уменьшению эксплуатационных расходов. Кроме того, из-за стандартизированных размеров и универсальности сэндвич-панелей время строительства может быть меньше, чем для каркасного дома, а также требует меньшего количества рабочих. Из панелей можно сделать пол, стены и крышу, при этом панели в качестве полов особенно полезны при использовании над неизолированным пространством ниже. Кроме того, поскольку сэндвич-панели работают как каркас, изоляция и наружная обшивка, то они могут поставляться заранее с завода для конкретной работы, и внешние стены здания могут быть построены довольно быстро. Они также обеспечивают устойчивость к воздействию влаги и холода, а также усадке или разбуханию от изменений влажности, которые не могут быть обеспечены древесиной и другими традиционными строительными материалами [11].

#### *Полимербетон*

К полимербетонам принято относить материалы, в которых для устранения недостатков классического портландцементного бетона используют полимерное связующее, полностью или частично заменяющее минеральное связующее. Обычно полимербетоном называют бетоны, в которых присутствует только полимерное связующее, без добавок минеральных вяжущих. Такие составы также называют пластобетонами. Но существуют и композиты с участием минеральных связующих, например бетонополимер и полимерцементный бетон.

Пластобетон представляет собой разновидность бетона, в составе которого вместо традиционных минеральных связующих используются исключительно полимерные связующие. Наиболее часто в качестве полимерного связующего для пластобетонных используют реактопласты – полиэфирные, фенолформальдегидные и эпоксидные смолы [7]. Процесс производства пластобетона очень прост и сводится к равномерному смешению заполнителей с полимерным связующим. К достоинствам пластобетонных можно отнести высокую химическую стойкость, значительную прочность и износостойкость, отличную адгезию к другим строительным материалам. Из недостатков пластобетона стоит выделить высокую стоимость, низкую термостойкость и ползучесть. Основной областью применения пластобетона являются защитные покрытия и монолитные конструкции, которые кон-

тактируют с химически агрессивными средами. Также пластобетон используют для ремонта бетонных или каменных зданий и сооружений [12].

Полимерцементный бетон – бетон, при приготовлении которого используются сразу два различных связующих: полимерное и минеральное. Полимерное связующее вводят в цементное тесто, поэтому их отверждение происходит одновременно. Полимерным связующим могут быть терморезистивные олигомеры – фенолоформальдегидные, эпоксидные и другие смолы, каучуки, а также мономеры – фурфуролацетонный мономер. Термопластичные связующие используются значительно реже, так как для добавления в минеральное вяжущее полимер должен быть жидким или растворимым в воде, например используют акриловые полимеры или поливинилацетат. Минеральным связующим обычно являются различные разновидности цемента, но возможно использование гипсовых, пуццолановых и магнезиальных связующих в зависимости от предъявляемых к материалу требований [13].

Бетонополимер – портландцементный бетон, который после затвердевания пропитывают жидкими мономерами или олигомерами. После проведения термообработки жидкие компоненты превращаются в твердый полимер, заполняющий все полости и трещины бетона. После такой обработки прочность и износостойкость бетона значительно возрастает. Бетонополимер имеет очень высокую морозостойкость благодаря почти нулевому водопоглощению. Для пропитывания бетона в основном используют стирол и метилметакрилат, которые полимеризуются в полистирол и полиметилметакрилат соответственно [14].

#### *Композиты на основе древесины*

На основе древесины выпускается значительное количество полимерных композиционных материалов: древесно-стружечные плиты, древесно-волоконные плиты, фанера, модифицированная древесина и древесно-полимерные композиты.

Древесно-стружечные плиты (ДСП) изготавливают из смеси отходов деревоперерабатывающих производств (опилки, стружка и др.), к которым добавляют полимерное связующее. Тщательно перемешанную массу прессуют с нагревом в специальных прессах для получения готовых листов. Преимуществами ДСП является их дешевизна, ведь для их производства используют отходы или древесину хвойных малоценных пород. Также их преимуществом можно считать приблизительно равную

прочность материала в любой плоскости. Недостатками древесно-стружечных плит является более высокая, по сравнению с массивом древесины, плотность, а также низкая прочность кромки и токсичность. К тому же плиты могут сильно набухать при повышенной влажности, поэтому необходимо наличие влагозащитного покрытия. Несмотря на все эти недостатки, ДСП является основным материалом при производстве мебели. В строительстве ДСП применяется при сооружении опалубки при заливке бетона, для обшивки стен, в качестве промежуточного слоя при укладке полов [15].

При производстве древесноволокнистой плиты (ДВП) применяют массу из перемолотых стружек, опилок, коры, которые смешиваются с олигомерным связующим и добавками. ДВП является заменителем досок, фанеры и ДСП. Может использоваться при производстве мебели, ящиков и других неответственных изделий. Преимуществами ДВП являются однородность, нетоксичность, стойкость к набуханию и усушке. Из недостатков стоит отметить низкую механическую прочность, которая не позволяет применять древесностружечные плиты в качестве несущего элемента. Поэтому ДВП чаще выполняет роль вспомогательных материалов, которые применяют для снижения массы готового изделия. В строительстве ДСП используют для тепло- и звукоизоляции стен, утепления перекрытий, внутренней облицовки [16].

Фанера – многослойный листовый материал, который получают склеиванием множества слоёв шпона. Слои шпона накладывают в определённой последовательности: волокна древесины в следующем слое должны быть перпендикулярны волокнам в предыдущем слое. Это позволяет достичь равной прочности листа в двух плоскостях, что является несомненным преимуществом по сравнению с массивом древесины. Также к преимуществам фанеры можно отнести возможность изгибать фанеру без опасности коробления, устойчивость к набуханию и усушке, низкую токсичность и эстетичный внешний вид готовых изделий. Прочность фанеры в значительной степени зависит от количества слоёв шпона, из которого она склеена. В строительной отрасли фанера используется для возведения опалубки, строительных лесов, внутренней и наружной отделки зданий, возведении элементов крыш [17].

Модифицированная древесина – древесина, обработанная различными химическими веществами и, в некоторых случаях, прошедшая тепловую, механическую или

иную обработку, направленную на улучшение (модифицирование) её свойств. Наиболее часто древесина пропитывается растворами или расплавами мономеров или олигомеров с последующим отверждением последних [18]. Это способствует образованию химических связей между древесиной и полимером, что существенно влияет на её свойства. Первые опыты по модифицированию древесины полимерами проведены еще в начале XX в. В 1930-е гг. Германия и США широко использовали модифицированную древесину в авиастроении и электротехнике. К преимуществам модифицированной древесины можно отнести высокую механическую прочность, стойкость к воздействию воды и агрессивных химических веществ, износостойкость и стабильность размеров. Свойства модифицированной древесины позволяют применять её в строительстве так же, как и обычную древесину: для внутренней и наружной облицовки зданий, возведения стен и перекрытий. Высокая устойчивость к влаге и агрессивным средам способствует активному использованию модифицированной древесины для крыш, напольных покрытий, сельскохозяйственных построек. Обычно для модифицирования применяют листовые породы деревьев малоценных пород – ольху, осину, тополь [19].

Древесно-полимерные композиты (ДПК) – все еще новые материалы относительно длинной истории натурального пиломатериала в строительстве. Древесно-пластиковые композиты были впервые представлены на рынке настилов в начале 1990-х гг. ДПК производятся путем тщательного смешивания измельченных древесных частиц и нагретого термопластичного полимера. Наиболее распространенным способом производства является экструдирование материала желаемого профиля, хотя также используется литье под давлением [20]. ДПК могут быть изготовлены из первичных или переработанных термопластов, включая ПЭВП, ПЭНП, ПВХ, ПП, АБС, ПС и ПЛА. Добавки, такие как красители, связующие агенты, УФ-стабилизаторы, вспенивающие агенты, пенообразователи и смазочные материалы, помогают адаптировать конечный продукт к целевой области применения. Наиболее распространенное использование ДПК – это полы, перила, заборы, облицовка и сайдинг, парковые скамьи, карнизы, оконные и дверные рамы, а также мебель для дома [21].

#### Заключение

Полимеры имеют много преимуществ по сравнению с обычными строительными

ми материалами: они легкие, устойчивы к коррозии и просты в обработке. Объединение их с наполнителями для формирования композитов улучшает их свойства, делая их полезными для таких строительных компонентов, как несущие конструкции, модульные блоки, теплоизоляция, сэндвич-панели, внутренняя и внешняя отделка [22]. Полимерные композиционные материалы обладают превосходными свойствами, которые дают реальную выгоду для строительной отрасли и становятся важными материалами во всех отраслях строительства. Стоит учитывать и широкие возможности по утилизации различных отходов в качестве как наполнителей, так и связующих, что, с одной стороны, обеспечивает снижение темпов накопления отходов, а с другой, позволяет получить изделия с пониженной стоимостью [23–25]. И поскольку полимерные композиты с каждым годом становятся всё лучше и лучше, масштабы использования этих материалов в строительной промышленности будут увеличиваться.

### Список литературы

1. Байер В.Е. Архитектурное материаловедение: учебник для студентов вузов. М.: Архитектура, 2012. 234 с.
2. Сокольская М.К., Колосова А.С., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. № 10–2. С. 290–295.
3. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. № 10–3. С. 459–465.
4. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия: Учебник для инженерно-экономических специальностей строительных вузов, 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1988. 527 с.
5. Клемпнер Д.П. Полимерные пены и технологии вспенивания. СПб.: Профессия, 2009. 599 с.
6. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные методы получения полимерных композиционных материалов и изделий из них // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 8. С. 123–129.
7. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5. С. 245–256.
8. Киреева Ю.И. Строительные материалы: учебное пособие. Минск: Новое знание, 2005. 399 с.
9. Величко Е.Г. Строение и основные свойства строительных материалов: учебное пособие. М.: ЛКИ, 2014. 496 с.
10. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы: учебник для вузов. М.: Студент, 2012. 440 с.
11. Рамачандран В.С. Добавки в бетон. Справочное пособие. Перевод с англ. Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева. М.: Стройиздат, 1988. 286 с.
12. Bedi R., Chandra R., Singh S.P. Reviewing some properties of polymer concrete. *Indian Concrete Journal*. 2014. № 8. P. 47–68.
13. Bedi R., Chandra R., Singh S.P. Mechanical Properties of Polymer Concrete. *Journal of Composites*. 2013. № 11. P. 1–12.
14. Домокеев А.Г. Строительные материалы: учебник для строительных вузов, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1989. 495 с.
15. Алимов Л.А., Воронин В.В. Строительные материалы: учебник для бакалавров. М.: Академия, 2012. 320 с.
16. Кочуров Д.В. Высокопрочные полимерные композиционные материалы // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19200> (дата обращения: 25.11.2019).
17. Основин В.Н., Шуляков Л.В., Дубяго Д.С. Справочник по строительным материалам и изделиям. М.: Феникс, 2006. 448 с.
18. Микульский В.Г. Строительные материалы и изделия. М.: АСВ, 2009. 520 с.
19. Панибратов Ю.П., Тихонов Ю.М., Мещеряков Ю.Г. Архитектурное материаловедение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. М.: Академия, 2012. 288 с.
20. Рыбьев И.А. Материаловедение в строительстве. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 528 с.
21. Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Тригуб Т.С. Все материалы. Энциклопедический справочник. М.: Химия, 2012. 203 с.
22. Кабанов В.А., Акутин М.С., Бакеев Н.Ф. Энциклопедия полимеров. Т. 2. М.: Советская Энциклопедия, 1974. 178 с.
23. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стеклянных отходов // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2–6.
24. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Утилизация керамических и полимерных отходов в производстве облицовочных композиционных материалов // Экология и промышленность России. 2019. № 7. С. 36–41.
25. Шахова В.Н., Воробьева А.А., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 11–2. С. 320–325.

СТАТЬИ

УДК 621.31:535.215

**СВОЙСТВА И СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО МАТЕРИАЛА  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$**

**<sup>1</sup>Дергачева М.Б., <sup>1,2</sup>Пузикова Д.С., <sup>1</sup>Хусурова Г.М.**

<sup>1</sup>*АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, e-mail: m\_dergacheva@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы*

Разработаны методы получения тонких пленок сложной оксидной системы медь – висмут  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ . Первый метод (метод spincoating) использует вращение подложки при нанесении растворов солей меди и висмута, с последующей термической обработкой пленок при 600 °С. Получены поликристаллические пленки  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  на подложках стекло/FTO, обладающие повышенной фоточувствительностью и р-типом проводимости. Для реализации этого метода разработан новый состав электролита с добавлением полиэтиленгликоля (PEG). Второй метод включает стадию электроосаждения меди и висмута из водных растворов на стекло/FTO и новую стратегию прямого электрохимического легирования  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  серебром для повышения эффективности разделения зарядов в фотоэлектродах из оксида металла. Полученные пленки также подвергаются термической обработке при 600 °С. Изготовление таких электродов путем электроосаждения из электролита, содержащего как основные компоненты, так и Ag, как легирующую добавку, позволяет синтезировать комплексное соединение с повышенной квантовой эффективностью за один этап. Физико-химическая характеристика всех образцов, выполненная методами SEM, AFM, РФА, PEC, подтвердила положительное влияние использования PEG и легирования серебром на уменьшение размеров агрегатов частиц на поверхности, уменьшение шероховатости, увеличение квантовой эффективности преобразования света. Фотоэлектрохимические свойства высококачественных фотоэлектродов  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ , полученных наиболее дешевыми химическими и электрохимическими методами при низких температурах, демонстрируют повышенную квантовую эффективность преобразования излучения и преимущество разработанных методов перед известными.

**Ключевые слова:** оксид меди висмута, материалы для солнечной энергетики, spincoating, электроосаждение, полиэтиленгликоль, электрохимическое допирование

**PROPERTIES AND METHODS FOR PRODUCING OXIDE SEMICONDUCTOR MATERIAL  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$**

**<sup>1</sup>Dergacheva M.B., <sup>1,2</sup>Puzikova D.S., <sup>1</sup>Khusurova G.M.**

<sup>1</sup>*D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry JSC, Almaty, e-mail: m\_dergacheva@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty*

Preparation methods for thin films of the complex oxide system copper-bismuth  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  have been developed. The first method (spin coating method) uses the substrate rotation during applying solutions of copper and bismuth salts, followed by films heat treatment at 600 °С. Polycrystalline  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  films on glass/FTO substrates with increased photosensitivity and p-type conductivity were obtained. To implement this method, a new electrolyte composition with addition of polyethylene glycol (PEG) has been developed. The second method includes the stage of copper and bismuth electrodeposition from aqueous solutions onto glass/FTO and a new strategy of  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  direct electrochemical alloying with silver to increase charge separation efficiency in metal oxide photoelectrodes. Obtained films are also heat treated at 600 °С. Such electrodes production by electrodeposition from an electrolyte containing both the main components and Ag, as an alloying additon, makes it possible to synthesise a complex compound with increased quantum efficiency in one step. The physicochemical characterization of all samples performed by (SEM, AFM, XRD, PEC) methods confirmed the positive effect of the use of PEG and silver alloying on reducing particle size of aggregates on the surface, roughness reducing, and increase in quantum light conversion efficiency. Photoelectrochemical properties of high-quality  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  photoelectrodes obtained by the cheapest chemical and electrochemical methods at low temperatures demonstrate the increased quantum efficiency of radiation conversion and developed methods advantages over previously known ones.

**Keywords:** bismuth copper oxide, materials for solar energy, spin coating, electrodeposition, polyethylene glycol, electrochemical doping

Оксид меди – висмута ( $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ ) представляет собой полупроводник р-типа с узкой энергетической запрещенной зоной 1,5 эВ. Он также имеет более подходящие положения энергетических зон для преобразования солнечной энергии по сравнению с известными материалами  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{CuO}$  и  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  [1–3].

$\text{CuBi}_2\text{O}_4$  обладает привлекательными свойствами в качестве фотокатода для солнечного расщепления воды. Во-первых, ширина запрещенной зоны позволяет использовать значительную часть видимого спектра. Во-вторых, минимум зоны проводимости имеет более отрицательный потенциал, чем термодинамический потенциал

для восстановления воды, что обеспечивает выработку солнечного  $H_2$ . В-третьих, максимум его валентной зоны расположен при гораздо более положительном потенциале, чем у р-типа Si и р-типа  $Cu_2O$ , которые в настоящее время считаются перспективными фотокатодами. В результате он может иметь более положительный потенциал в плоской зоне  $> 1,0$  В по отношению к обратимому водородному электроду (RHE) и, следовательно, имеет возможность достижения фотонапряжения (то есть разности между потенциалом термодинамического восстановления воды и потенциалом начала фототока), превышающего 1,0 В для выделения  $H_2$  [4–7].

Обзор литературных данных по методам получения соединения  $CuBi_2O_4$  позволяет сделать вывод о том, что изучено большое количество техник и предлагаются различные методики. Каждая из методик требует тщательного подхода к эксперименту и наличия специального оборудования для синтеза равномерно осажденных и фоточувствительных пленок.

В настоящей работе представлены результаты по получению пленочных покрытий  $CuBi_2O_4$  на FTO/стекло двумя различными методами: химическим методом spin coating и электрохимическим методом.

Цель исследований: повысить эффективность фотоэлектрохимического преобразования солнечного и других видов излучения с помощью использования тонких пленок полупроводников, изготовленных на основе сложных оксидов меди висмута. Установить влияние различных способов изготовления фотокатодов  $CuBi_2O_4$  и их допирования на повышение эффективности преобразования солнечного излучения.

#### Материалы и методы исследования

Пленки сложной оксидной системы медь – висмут получены двумя методами:

1) методом spin coating на специально собранной установке с вращающимся столиком ( $v = 500$  об/мин). Нанесение пленок производилось на предварительно очищенные оптически прозрачные электроды, представляющие собой проводящее, покрытое фторированным оксидом олова, стекло (FTO), размером  $10 \times 25$  мм. Подробная методика представлена в работе [8].

2) электрохимическим потенциостатическим осаждением ( $E = -0,5$ В Ag/AgCl нас. KCl) с использованием кислых растворов, содержащих 0,05М тригидрата нитрата меди и 0,1М пентагидрата нитрата висмута [9], на такие же подложки. Фотоэлектрохимические исследования полученных образцов [ $CuBi_2O_4$ /FTO/стекло] проводили

в растворе 0,2М  $Na_2SO_4 + 0,1$ М фосфатный буфер  $+ 10 \times 10^{-3}$ М  $H_2O_2$  при модулированном освещении светом с длиной волны 465 нм на установке GillAC (ACM Instruments) с использованием кварцевой кюветы и хлорсеребряного электрода сравнения.

Все полученные образцы подвергались термической обработке при  $600^\circ C$  в течение 2 ч.

#### Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 сопоставлены результаты электронной микроскопии (JEOL, Япония с возможностями микроанализа «JSM6610 LV») для пленок  $CuBi_2O_4$ , осажденных на стекло/FTO из растворов без органических составляющих (рис. 1, а) и содержащих PEG (рис. 1, б). Микрофотографии поверхности образцов показывают, что добавление в раствор полиэтиленгликоля способствует упорядоченному росту одинаковых по размеру и форме зерен (190–210 нм), тогда как при осаждении без добавления органики (рис. 1, а) наблюдалось развитие хаотично расположенных образований размером от 85 нм до 820 нм и наличие значительных перепадов рельефа.

Результаты элементного анализа показывают, что введение в раствор полиэтиленгликоля не влияет на элементный состав пленок и не способствует появлению примесей.

По результатам исследования пленок на атомно-силовом микроскопе (JSPM 5200, JEOL) установлено, что на сканах в формате 3D видны фигуры роста до 94 нм (рис. 1, в) и 146 нм (рис. 1, г) для пленок, осажденных из растворов с содержанием полиэтиленгликоля и без соответственно. Эксперименты показали, что при использовании раствора с PEG, в 1,5 раза уменьшается шероховатость поверхности и кристаллиты имеют округлую форму, характерную для данного соединения.

Из результатов РФА очевидно, что введение в раствор полиэтиленгликоля положительно отражается на структуре пленок. Наблюдается увеличение дифракционных пиков и их интенсивности. На рисунке приведены рентгенограммы пленок  $CuBi_2O_4$ , осажденных на FTO из растворов без PEG (рис. 2, а) и с содержанием PEG (рис. 2, б). Кристаллографический анализ рентгеновских лучей и измерения EDAX подтверждают наличие фазы Kusaishiite, соответствующей сложнооксидному соединению  $CuBi_2O_4$ . Рефлексы  $SnO_2$  от подложки, зафиксированные на дифракционных диаграммах, обусловлены малой толщиной нанесенных пленок  $CuBi_2O_4$  (менее 500 нм).

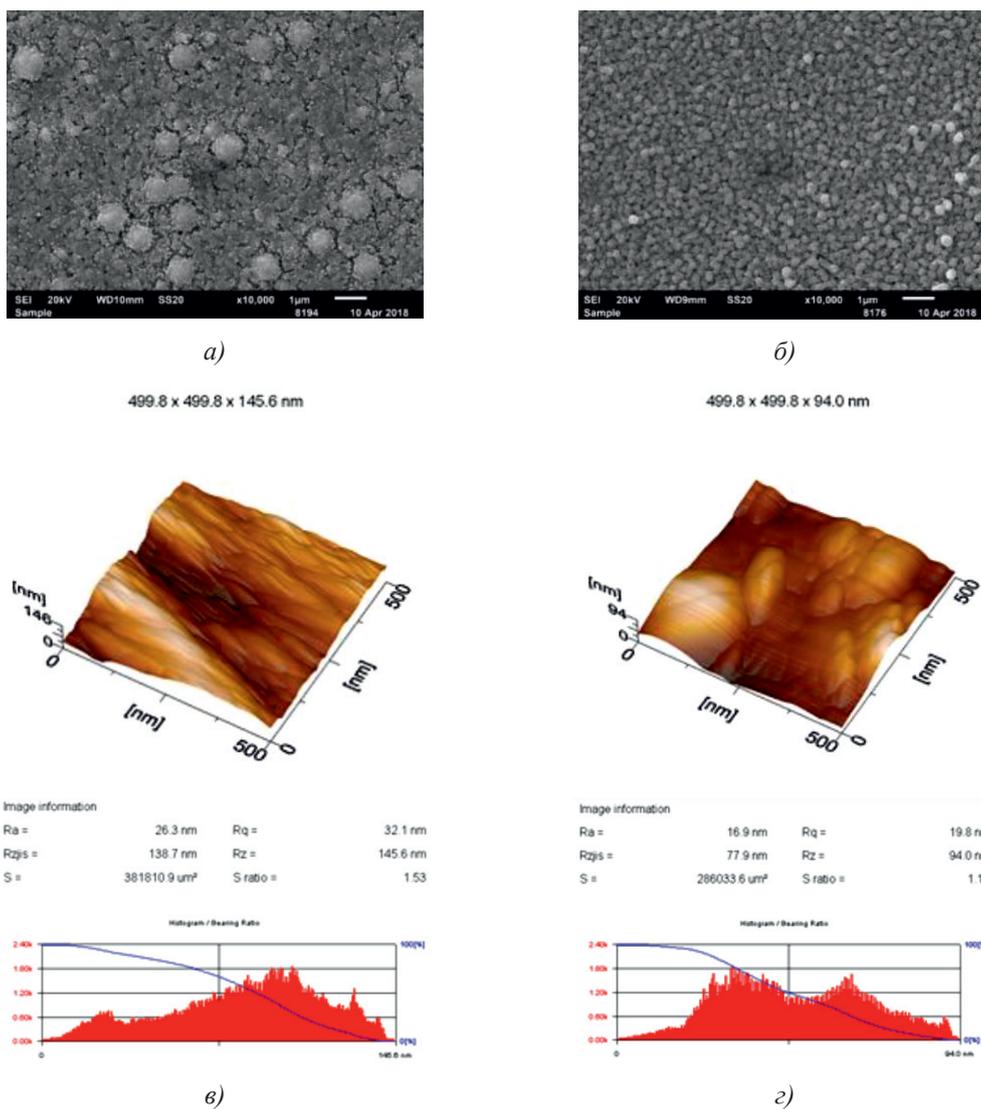


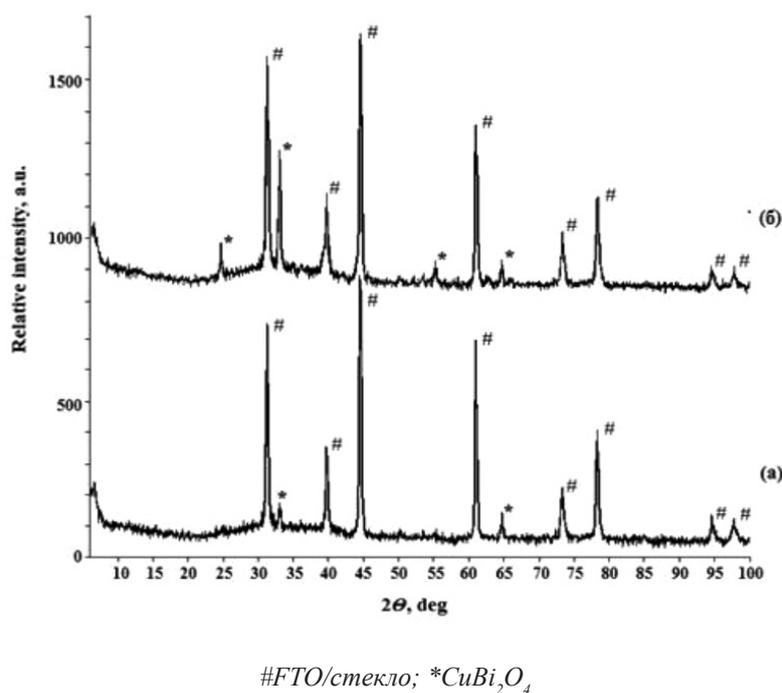
Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение (а, б), результаты AFM исследований (в, г) пленок  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ , осажденных без добавок (а, в) и с добавкой PEG (б, г)

На рис. 3 представлены зависимости плотности фототока от потенциала при модулированном освещении светом с длиной волны 465 нм для образцов тонких пленок  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ , полученных по первому методу.

Фотоэлектрохимическое исследование осажденных пленок показало, что все фототоки отрицательны. Это характеризует полученный полупроводник как материал с *p*-типом проводимости. Сопоставление значений фототоков свидетельствует о том, что фотоэлектрохимическая активность пленок, осажденных из растворов с содержанием полиэтиленгликоля в 2 раза выше, чем осажденных без добавления PEG. Разработанная методика осаждения

тонких пленок сложнооксидной системы медь – висмут  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  позволяет получать поликристаллические пленки с повышенной фоточувствительностью.

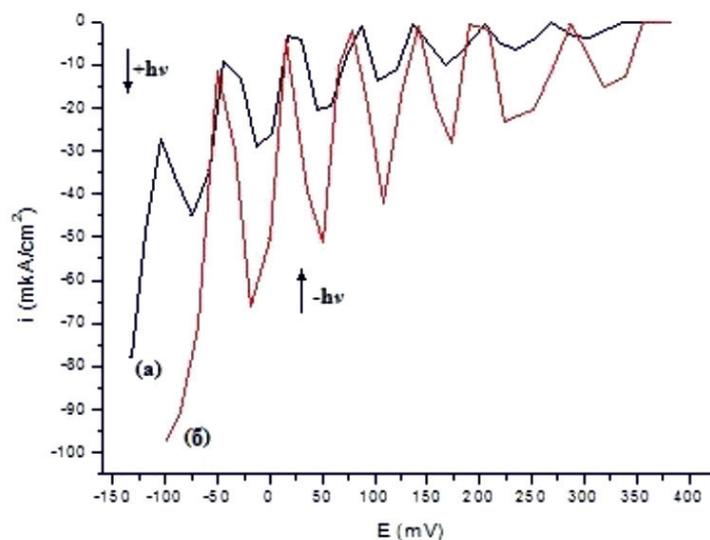
Для пленок, полученных по электрохимическому методу (второй метод) также изучены структурные, оптические и фотоэлектрохимические свойства  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ . На рис. 4 приведены микрофотографии поверхности полученных пленок. Видно, что введение серебра в раствор при электроосаждении не повлияло на размер образований. Это можно объяснить тем, что концентрация ионов серебра ( $2,4 \cdot 10^{-5}$  М или  $6 \cdot 10^{-5}$  М), вводимых в исходный электролит, на два порядка ниже концентрации основных элементов – меди и висмута.



#FTO/стекло; \*CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

а) без использования PEG; б) в присутствии PEG

Рис. 2. РФА исследований пленок CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, осажденных с использованием различных электролитов



а) без использования PEG; б) в присутствии PEG

Рис. 3. Фотополяризационные зависимости для электрода CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, полученного с использованием различных электролитов (*i* – плотность фототока, *E* – приложенный потенциал)

Рентгеноструктурный анализ и измерения EDAX подтверждают присутствие фазы кусачита, соответствующей комплексному оксидному соединению CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

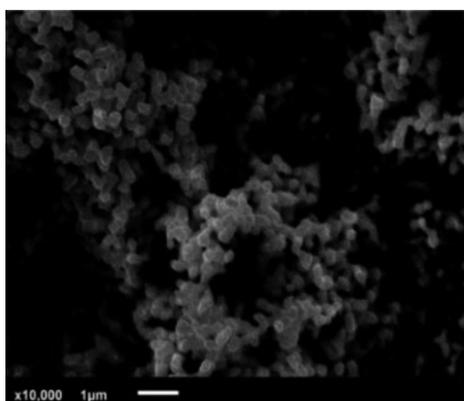
Таким образом, подтверждается возможность одностадийного электроосаждения тонких пленок CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub> с легирующей добавкой в виде серебра без грубых

изменений рельефа пленок. Это возможно благодаря процессам замещения атомами серебра ( $\text{Ag}^+$ ) атомов висмута ( $\text{Bi}^{3+}$ ). Следствием этого является изменение фотоэлектрохимических свойств.

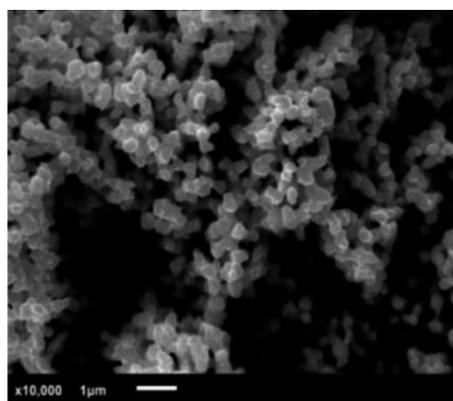
Фоточувствительность электроосажденных пленок  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  и  $\text{CuBi}_2\text{O}_4(\text{Ag})$  изучали методом фотоэлектрохимии (ПЕС) при модулированном освещении светом длины волны 465 нм (раствор 0,1M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 0,1M  $\text{NaOH}$ ). Результаты показали, что полученный полупроводник также характеризуется проводимостью р-типа. На рис. 5 приведены зависимости плотности фототока для образцов тонких пленок с различным содержанием серебра в различных растворах.

Следует отметить, что при использовании  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  наблюдался более высокий темновой ток.

Для объективной оценки были рассчитаны фототок и квантовая эффективность преобразования света для каждой из электроосажденных композиций (таблица). Более высокие значения фототока были зафиксированы, когда в качестве раствора для измерений использовали 0,1 M  $\text{NaOH}$ . Однако было отмечено, что с увеличением концентрации ионов серебра в электролите осаждения и, следовательно, увеличением его количества в составе  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ , значения фиксированного фототока возрастают в обоих растворах  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaOH}$ .

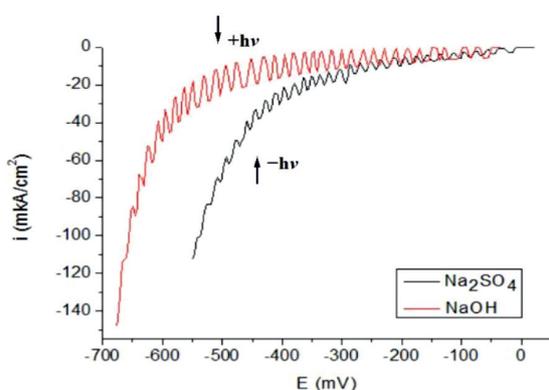


а) электролит без Ag

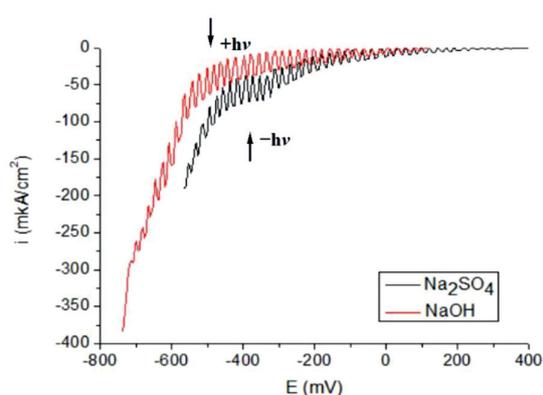


б) электролит с Ag ( $C_{\text{Ag}}=6 \cdot 10^{-5} \text{M}$ )

Рис. 4. Микрофотографии поверхности тонких пленок  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ , полученных по второму методу



а)



б)

Рис. 5. Фотополаризационные кривые  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  электродов, электроосажденных без допирования (а) и допированных серебром ( $6 \cdot 10^{-5} \text{M}$ ) (б), исследованных в различных растворах

Численные значения фототока и квантового выхода для тонких пленок  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ , электроосажденных из различных растворов

Содержание Ag в исходном растворе	Плотность фототока, $i^{\text{ph}}$ , мкА/см <sup>2</sup>		Квантовый выход, $\Upsilon$ , %	
	0,1M $\text{Na}_2\text{SO}_4$	0,1M NaOH	0,1M $\text{Na}_2\text{SO}_4$	0,1M NaOH
0	8,9	16,7	1,0	1,9
$2,4 \cdot 10^{-5}$ M	26,2	18,6	2,3	2,1
$6 \cdot 10^{-5}$ M	37,7	42,2	4,4	4,9

Сравнение значений фототока указывает на возможность увеличения фотоактивности путем замены ионов висмута в структуре соединения ионами серебра. В легированных Ag пленках  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  ионы  $\text{Ag}^+$  замещают ионы  $\text{Bi}^{3+}$  и увеличивают концентрацию дырок. Улучшенный перенос дырок, вызванный легированием Ag, приводит не только к увеличению фототока, но и к подавлению фотокоррозии  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ . Введение ионов Ag в раствор позволило увеличить квантовый выход на 1,96 и 4,94 % для раствора NaOH и на 1,05 и 4,41 % для раствора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Величина фотоактивности пленок увеличилась в 4 раза. Высокие значения фототока в пленках сложного оксида  $\text{CuBi}_2\text{O}_4(\text{Ag})$ , полученных методом электроосаждения, позволяют считать этот материал перспективным для использования в фотоэлектрохимических солнечных элементах и фотоэлектрохимических устройствах разложения воды.

### Заключение

1. Разработан процесс получения сложно оксидной системы медь – висмут  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  с использованием метода вращения подложки (метод spincoating), который позволил получить поликристаллические пленки  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  с повышенной фоточувствительностью, р-типом проводимости. Для этого разработан новый состав электролита, включающий особо чистые соли нитратов меди и висмута с добавлением полиэтиленгликоля (PEG) для осаждения тонких пленок на FTO. Подтверждено положительное влияние использования PEG на уменьшение размеров агрегатов частиц на поверхности, уменьшение шероховатости, увеличение квантовой эффективности преобразования света в 2 раза.

2. Предложена новая стратегия в развитии метода электроосаждения и использовании прямого легирования  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  серебром для повышения эффективности разделения зарядов в электроосажденных фотоэлектродах из оксида меди – висмута. Изготовление таких электродов путем электроосаждения

из электролита, содержащего как основные компоненты, так и Ag, как легирующую добавку, позволяет синтезировать комплексное соединение с повышенной квантовой эффективностью за один этап. Улучшенный перенос дырок, вызванный легированием Ag, приводит не только к увеличению фототока, но и к подавлению фотокоррозии  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ . Введение небольшого количества ионов серебра ( $6 \cdot 10^{-5}$  M) в качестве легирующего элемента позволило увеличить фототок в 4 раза.

Полученные значения фототоков и квантовой эффективности преобразования излучения показывают преимущество разработанных методов перед ранее известными.

### Список литературы

1. Peter L.M. Photoelectrochemical Water Splitting at Semiconductor Electrodes: Fundamental Problems and New Perspectives. *Chem. Phys. Chem.* 2014. № 15. P. 1983.
2. Jiangtian L., Griep M., Choi Y., Chu D. Photoelectrochemical overall water splitting with textured  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  as photocathode. *Chem. Comm.* 2018. № 54 (24). P. 3331–3334.
3. Zhu L., Basnet P., Larson S.R., Jones L.P., Howe J.Y., Tripp R.A., Zhao Y. Visible Light- Induced Photoelectrochemical and Antimicrobial Properties of Hierarchical  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  by Facile Hydrothermal Synthesis. *Chemistry Select.* 2016. № 1. P. 1518–1524.
4. Berglund S., Abdi F., Bogdanoff P., Chemseddine A., Friedrich D., van de Krol R. Comprehensive Evaluation of  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  as a Photocathode Material for Photoelectrochemical Water Splitting. *Chem. Mater.* 2016. № 28. P. 4231–4242.
5. Kang D., Kim T., Kubota S.R., Cardiel A.C., Cha H.G., Kyoung C. Electrochemical Synthesis of Photoelectrodes and Catalysts for Use in Solar Water Splitting. *Chem. Rev.* 2015. № 115. P. 12839–12887. DOI: 10.1021/acs.chemrev.5b00498.
6. Kang D., Hill J.C., Park Y., Choi K.-S. Photoelectrochemical Properties and Photostabilities of High Surface Area  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  and Ag-Doped  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  Photocathodes. *Chem. Mater.* 2016. № 28. P. 4331–4340.
7. Cao D., Nasori N., Wang Z., Mi Y., Wen L., Yang Y., Qu S., Wang Z., Lei Y. p-type  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ : an Easily Accessible Photocathodic Material for High-efficient Water Splitting. *J. Mater. Chem. A.* 2016. № 4. P. 8995–9001.
8. Пузикова Д.С., Дергачева М.Б., Хусурова Г.М. Исследование полупроводниковых пленок  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$ , нанесенных методом SpinCoating // Вестник КазНУ. 2019. № 3. С. 645–651.
9. Puzikova D.S., Dergacheva M.B., Khussurova G.M. Thin semiconductor films  $\text{CuBi}_2\text{O}_4$  for photoelectrochemical solar cells. *Materials Today: Proceedings.* 2019. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.10.050.