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

№ 2 2020

Научный журнал
Scientific journal

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

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
к.м.н. Н.Ю. Стукова
Ответственный секретарь
к.м.н. М.Н. Бизенкова

EDITOR
Natalia Stukova
Senior Director and Publisher
Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.
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

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова
Техническое редактирование и верстка Л.М. Байгузова
Корректор Е.С. Галенкина

Подписано в печать 27.02.2020
Дата выхода номера 27.03.2020

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. 18,38
Тираж 500 экз.
Заказ МЖПиФИ 2020/2

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

БИОСИНТЕЗ ПИГМЕНТОВ В КЛЕТКАХ *DUNALIELLA SALINA* IPPAS D-294, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИОНОЛОМ, ПРИ ВЫСОКОЙ СОЛЕНОСТИ В ОПТИМАЛЬНОМ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ РЕЖИМАХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Али-заде Г.И., Сулейманова Л.М., Джалилова А.Р. 9

ПСИХОФИЗИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПЕРВОГО КУРСА КОЛЛЕДЖА К УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Быструшкин С.К., Селиверстова И.Г., Тютерева И.А., Тютерев В.Н., Грибцова Л.С., Гениатулина Е.В. 15

АГРОНОМИЧЕСКИ ЦЕННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ И ИХ АССОЦИАЦИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Смирнова И.Э., Саданов А.К. 19

РЕАКЦИЯ МАКРОФАГОВ И ТУЧНЫХ КЛЕТОК ЛЁГКИХ КРЫС НА ПАРЕНТЕРАЛЬНОЕ ВВЕДЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Сухорукова Е.Г., Юкина Г.Ю., Половников И.В., Крыжановская Е.А. 24

СЫРЬЕВЫЕ ЗАПАСЫ ТРАВЫ ПОЛЫНИ ЗЕЛЕНОЙ (*ARTEMISIA VIRIDIS* WILLD.) В НЕКОТОРЫХ ОБЛАСТЯХ КЫРГЫЗСТАНА

Табылдиева Ч.Т., Чолпонбаев К.С., Дооталиева С.Ч., Исмаилов М.В., Рогова Н.А., Шалпыков К.Т. 29

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ

Шигуева Т.А., Китов В.В., Томиловская Е.С., Козловская И.Б. 34

ОБЗОРЫ

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИАГНОСТИКА НОДУЛЯРНОГО ДЕРМАТИТА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Алмежанова М.Д., Шораева К.А., Мухами Н.Н., Бурашев Е.Д., Туменбаева Н.Т., Закарья К.Д., Султанкулова К.Т. 40

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ КАК ОСНОВА ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ

Раимбеков К.Т., Моомбеков С.Т. 45

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЛУЧАЕВ ОСТРЫХ ОТРАВЛЕНИЙ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИХ ТЕРАПИИ В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ

Малкина Н.В., Струлькова С.Ю., Болванович А.Е., Хлопьева Т.А. 50

АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ С ВРЕМЕННОЙ УТРАТОЙ ТРУДОСПОСОБНОСТИ РАБОТНИКОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ АО «KEGOC»

Машина Т.Ф., Калишев М.Г., Жумалиев Б.С., Абитаев Д.С., Шайхина Ж.К., Ердесов Н.Ж. 54

АНАЛИЗ КОНЪЮНКТУРЫ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО РЫНКА КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ НПВП – ПРОИЗВОДНЫХ ПРОПИОНОВОЙ КИСЛОТЫ

Эрмекова Д.У. 59

ОБЗОРЫ

ВОЗМОЖНОСТИ ИНЖЕКЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ (MIM – METAL INJECTION MOLDING) В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Базлов В.А., Мамуладзе Т.З., Харитонов К.Н., Ефименко М.В., Голенков О.И., Пронских А.А., Панченко А.А., Павлов В.В. 64

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМА МЯГКИХ ТКАНЕЙ В ОБЛАСТИ ЗУБОВ И ИМПЛАНТАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЕДИНИТЕЛЬНОТКАННЫХ АУТОТРАНСПЛАНТАТОВ

Кулаков А.А., Бадалян В.А., Паринов Д.А., Мартиросова А.Ю. 69

СТЕРИЛЬНОСТЬ ЖЕНЩИН КАК СЛЕДСТВИЕ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ГЕНИТАЛИЙ

Шаталов А.Е., Купина А.Д., Петров Ю.А. 74

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ГИПС И ГИПСОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ДРЕВНИХ СООРУЖЕНИЯХ КЫРГЫЗСТАНА И РАЗВИТИЕ ОТРАСЛИ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Абылов С.А., Ассакунова Б.Т. 78

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Адамян В.Л., Сергеева Г.А., Забитов А.Ш., Масявра А.А. 82

АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЯЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНЫХ УСЛУГ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО РЕЙТИНГА

Белая М.Н., Кравцова С.Е., Гутовская И.В. 86

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЗОЛЫ В УСЛОВИЯХ ХЛОРИРУЮЩЕГО ОБЖИГА

Досмухамедов Н.К., Даруеш Г.С., Жолдасбай Е.Е. 91

СТАДИЯ ИОННОГО ОБМЕНА В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

Жуковская Е.С., Павлов Ю.В., Попов С.С., Гутников С.И. 99

РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ ДОБЫЧНОГО КОМБАЙНА МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ УСИЛИЙ

Заголило С.А., Семёнов А.С. 104

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ КРИООБРАБОТКИ СОКОВ И ВИН

Мамедов Б.А., Мамедова А.Р., Фаталиев Х.К. 110

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСПАДА РАДИАЦИОННО-НАВЕДЕННЫХ ДЕФЕКТОВ В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

Арапов Б.А., Арапов Т.Б., Орозбаева А.А. 115

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОМ ОТРАЖЕНИЯ ОТ ТОНКОЙ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЕНКИ

Головкина М.В. 120

ТЕРМОЭМИССИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР, РАБОТАЮЩИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Исманов Ю.Х., Ниязов Н.Т., Джаманкызов Н.К., Жумалиев К.М. *125*

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ СИСТЕМ Ag_2S-Cu_2SnS_3 (Cu_4SnS_4)

Гурбанов Г.Р., Рзагулуев В.А., Керимли О.Ш., Мамедов Ш.Г., Алиев О.М., Рагимова В.М. *131*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ InTe-Sb_2Te_3

Мамедова Н.А., Алиев И.И., Мехтиева С.Т., Амирасланов И.Р. *137*

МОДЕЛИ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ СВЯЗЬ СТРУКТУРА – АКТИВНОСТЬ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ ХРОНИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ РЫБ

Раевский О.А., Раевская О.Е., Григорьев В.Ю., Раздольский А.Н., Григорьева Л.Д. *142*

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLES

PIGMENT BIOSYNTHESIS IN *DUNALIELLA SALINA* IPPAS-294 CELLS MODIFIED BY 2,6 DI-TRET-BUTYL CRESOL AT HIGH SALINITY IN OPTIMAL AND LOW-TEMPERATURE CULTIVATION CONDITIONS

Alizade G.I., Suleymanova L.M., Dzhalilova A.R. 9

PSYCHOPHYSICAL ADAPTATION OF STUDENTS OF THE FIRST COLLEGE COURSE TO EDUCATIONAL ACTIVITY

Bystrushkin S.K., Seliverstova I.G., Tyutereva I.A., Tyuterev V.N., Gribtsova L.S., Geniatulina E.V. 15

AGRICULTURALLY IMPORTANT MICROORGANISMS AND THEIR ASSOCIATION FOR AGRICULTURE

Smirnova I.E., Sadanov A.K. 19

MACROPHAGES AND MAST CELLS RESPONSE IN RATS LUNGS AFTER PARENTERAL ADMINISTRATION OF THE SILICON DIOXIDE NANOPARTICLES

Sukhorukova E.G., Yukina G.Yu., Polovnikov I.V., Kryzhanovskaya E.A. 24

THE RAW STOCKS OF HERB OF SAGEBRUSH GREEN (*ARTEMISIA VIRIDIS* WILLD.) IN SOME REGIONS OF KYRGYZSTAN

Tabyldieva Ch.T., Cholponbaev K.S., Dootalieva S.Ch., Ismailov M.V., Rogova N.A., Shalpykov K.T. 29

CHARACTERISTICS OF PRECISE MOTOR CONTROL IN HUMAN UNDER MICROGRAVITY CONDITIONS

Shigueva T.A., Kitov V.V., Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya I.B. 34

REVIEWS

MOLECULAR DIAGNOSIS OF CATTLE LUMPY SKIN DISEASE

Almezhanova M.D., Shoraeva K.A., Mukhami N.N., Burashev E.D., Tumenbaeva N.T., Zakarya K.D., Sultankulova K.T. 40

ANALYSIS OF THE MAIN METHODS IN THE FIELD OF BIOLOGICAL TREATMENT AS A BASIS FOR THE INTENSIFICATION OF THE WORK OF STRUCTURES

Raimbekov K.T., Moombekov S.T. 45

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF ACUTE POISONING CASES AND SOME FEATURES OF THEIR TREATMENT IN THE REPUBLIC OF MORDOVIA

Malkina N.V., Strulkova S.Yu., Bolvanovich A.E., Khlopeva T.A. 50

ANALYSIS OF MORBIDWITH THE TIME LOSS OF WORKINGCAPACITY OF EMPLOYEES OF ENERGYNDUSTRY «KEGOC» JSC

Mashina T.F., Kalishev M.G., Zhumaliev B.S., Abitaev D.S., Shaykhina Sh.K., Erdesov N.Zh. 54

BUSINESS ANALYSIS OF THE PHARMACEUTICAL MARKET OF THE KYRGYZ REPUBLIC OF NSAIDS – PROPIONIC ACID DERIVATIVES

Ermekova D.U. 59

REVIEWS

CAPABILITIES INJECTION MOLDING OF METAL POWDERS
(MIM – METAL INJECTION MOLDING) THE PRODUCTION OF MEDICAL PRODUCTS

*Bazlov V.A., Mamuladze T.Z., Kharitonov K.N., Efimenko M.V.,
Golenkov O.I., Pronskikh A.A., Panchenko A.A., Pavlov V.V.* *64*

MODERN APPROACHES TO INCREASE THE VOLUME OF SOFT TISSUES IN THE AREA
OF TEETH AND IMPLANTS USING CONNECTIVE TISSUE GRAFTS

Kulakov A.A., Badalyan V.A., Parinov D.A., Martirosova A.Yu. *69*

STERILITY OF WOMEN AS A CONSEQUENCE OF INFLAMMATORY
DISEASES OF THE GENITALS

Shatalov A.E., Kupina A.D., Petrov Yu.A. *74*

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

GIPSUM AND GIPSUM MATERIALS IN ANCIENT STRUCTURES OF KYRGYZSTAN
AND INDUSTRY DEVELOPMENT OF PRODUCTION

Abylov S.A., Assakunova B.T. *78*

FIRE SAFETY OF CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

Adamyan V.L., Sergeeva G.A., Zabitov A.Sh., Masyavra A.A. *82*

ANALYSIS OF PROCEDURES FOR ASSESSING THE QUALITY
OF MANAGEMENT ORGANIZATIONS OF HOUSING AND COMMUNAL
SERVICES FOR THE FORMATION OF CONSUMER RATING

Belaya M.N., Kravtsova S.E., Gutovskaya I.V. *86*

FEATURES OF BEHAVIOR OF COMPONENTS OF ASH UNDER THE CHLORINATING
FIRING CONDITIONS

Dosmukhamedov N.K., Daruesh G.S., Zholdasbay E.E. *91*

STAGE OF ION EXCHANGE IN THE CONTINUOUS BASALT
FIBERS PRODUCTION TECHNOLOGY

Zhukovskaya E.S., Pavlov Yu.V., Popov S.S., Gutnikov S.I. *99*

CALCULATION AND SELECTION OF ELECTRIC MOTORS OF THE MINING
COMBINE MECHANISM BY THE EQUIVALENT FORCE METHOD

Zagolilo S.A., Semenov A.S. *104*

IMPROVING THE INSTALLATION FOR CRYOPROCESSING JUICES AND WINES

Mamedov B.A., Mamedova A.R., Fataliev Kh.K. *110*

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ARTICLES

MODELING OF THE KINETICS FOR DECOMPOSITION OF RADIATION-INDUCED
DEFECTS IN ION CRYSTALS

Arapov B.A., Arapov T.B., Orozbaeva A.A. *115*

METHODS OF EFFECT ON REFLECTION COEFFICIENT
FROM THIN SUPERCONDUCTING FILM

Golovkina M.V. *120*

THERMOEMISSION GENERATOR OPERATING UNDER
CONCENTRATED SOLAR RADIATION

Ismanov Yu.Kh., Niyazov N.T., Dzhamankyzov N.K., Zhumaliev K.M. *125*

CHEMICAL SCIENCES

ARTICLES

PHASE DIAGRAMS OF Ag_2S-Cu_2SnS_3 (Cu_4SnS_4) SYSTEM

Gurbanov G.R., Rzaguluev V.A., Kerimli O.Sh., Mamedov Sh.H., Aliev O.M., Ragimova V.M. *131*

INVESTIGETION OF INTERACTION IN InTe-Sb_2Te_3 SYSTEM

Mamedova N.A., Aliev I.I., Mekhtieva S.T., Amiraslanov I.R. *137*

MODELS OF QUANTITATIVE STRUCTURE – ACTIVITY RELATIONSHIP
OF NONSPECIFIC CHRONIC TOXICITY OF ORGANIC COMPOUNDS FOR FISHES

Raevskiy O.A., Raevskaya O.E., Grigorev V.Yu., Razdolskiy A.N., Grigoreva L.D. *142*

СТАТЬИ

УДК 57.082.26

БИОСИНТЕЗ ПИГМЕНТОВ В КЛЕТКАХ *DUNALIELLA SALINA* IPPAS D-294, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИОНОЛОМ, ПРИ ВЫСОКОЙ СОЛЕНОСТИ В ОПТИМАЛЬНОМ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ РЕЖИМАХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

[1]Али-заде Г.И., [2]Сулейманова Л.М., [1]Джалилова А.Р.

[1]Бакинский государственный университет, Баку, e-mail: cayimhu@mail.ru;

[2]Азербайджанский медицинский университет, Баку, e-mail: leyla_suleymanli@yahoo.com

В работе представлены результаты изучения биопродуктивности, биосинтеза пигментов в клетках *Dunaliella salina* IPPAS D-294, выращенных при высокой солености в оптимальном и низкотемпературном режимах культивирования. Показано, что в условиях высокой солености (3 M NaCI) и низкотемпературного стресса биопродуктивность клеток снижается на 25% по отношению к оптимальному режиму культивирования. Модификация клеток ионолом при концентрациях 25–350 мкМ приводит к стимуляции роста культуры Dunaliella в оптимальном, а при низкотемпературных режимах интервал увеличивается до 25–500 мкМ. Установлено, что модификация клеток различными концентрациями ионола в течение 24 ч в оптимальных условиях культивирования снижают биосинтез хлорофиллов (82% хлорофилла *а*; 85% хлорофилла *в*), синтез суммы каротиноидов при этом несколько увеличивается до 6% водорослями. Параметр, отношения суммы хлорофиллов и каротиноидов, характеризующий энергизацию фотосинтетической мембраны, составляет 4,5 в оптимальном режиме культивирования. Установлено, что низкотемпературный стресс увеличивает толерантность клеток к действию синтетического антиоксиданта ионола. Наблюдается уменьшение соотношения хлорофилла *а* / хлорофилла *в*, а также снижение соотношения хлорофиллы/каротиноиды, за счет подавления синтеза суммы хлорофиллов.

Ключевые слова: зеленая микроводоросль *Dunaliella*, биопродуктивность, ионол, соленость, синтез хлорофиллов, сумма каротиноидов

PIGMENT BIOSYNTHESIS IN *DUNALIELLA SALINA* IPPAS-294 CELLS MODIFIED BY 2,6 DI-TRET-BUTYL CRESOL AT HIGH SALINITY IN OPTIMAL AND LOW-TEMPERATURE CULTIVATION CONDITIONS

[1]Alizade G.I., [2]Suleymanova L.M., [1]Dzhalilova A.R.

[1]Baku State University, Baku, e-mail: cayimhu@mail.ru;

[2]Azerbaijan Medical University, Baku, e-mail: leyla_suleymanli@yahoo.com

In this work have been presented the results of influence investigations of bioproductivity and biosynthesis of pigments in *Dunaliella salina* IPPAS D-294 cells grown at high salinity condition (3,0 M NaCl) and low temperature stress, bioproductivity of cells reduces 25% compared to optimal regime of cultivation. The modification of cells by 2,6 di-tret-butyl cresol at concentrations 25-350 mkM leads to grown stimulation of Dunaliella culture in optimal regime, bid in low temperature regime the interval incases up to 25-500 mkM. It was identified that, the modification of cells by various concentrations ionol whiten 24 hours in optimal regime of cultivation decreases biosynthesis of chlorophyll (82% chlorophyll *a*, 85% chlorophyll *b*), but incases up to 6% by seaweed. Parameter of ratio chlorophyll and carotenoid amount, characterizing energization of photosynthetic membrane consyts of 4,5 in optimal regime of cultivation. It was identified that, low temperature stress, increases the tolerance of cells to synthetic activity if ionol. Decrease of chlorophyll *a* / chlorophyll *b* ratio and also decease cartonoid ratio due to suppression of synthesis of chlorophyll amount.

Keywords: *Dunaliella* microalgae, salinity, bioproductivity, 2.6 di-tret-butyl cresol, biosynthesis of chlorophyll and carotenoids

Литературные данные, касающиеся изменения пигментных систем у различных представителей рода *Dunaliella* под воздействием экстремальных условий существования сводятся к тому, что абсолютное содержание всех пигментов в клетках *Dunaliella* при увеличении концентрации осмотически действующих солей, недостатке биогенных элементов, повышении и понижении температуры, как правило увеличивается [1]. Абсолютное содержание хлорофиллов *а* и *в* и их суммы в клетках всех видов, *Dunaliella* в экстремальных условиях существования имеет тенденцию уменьшаться.

Известно, что также в процессе роста культур содержание и соотношение пигментов в биомассе изменяется. По данным [2] максимальное количество всех пигментов образуется в период интенсивного роста водорослей. Во время логарифмической фазы роста культуры *Dunaliella salina* абсолютное содержание каротинов в клетках уменьшается [3, 4]. Накопление последнего наблюдается лишь при переходе культуры в стационарную фазу [2]. Поэтому мы экс-

перименты проводили в течение 24 ч в интенсивном режиме культивирования, где достигается только стационарная фаза роста. Адаптация растений к низким температурам связана с восстановлением нарушенного баланса между такими важнейшими физиологическими процессами, как рост, пигментообразование и фотосинтез [5].

Несмотря на то, что растения обычно обладают высоким уровнем антиокислительной активности и, как правило, содержат большое количество антиоксидантов различной химической природы [6–8], нам хотелось также исследовать, в какой степени ионол (классический синтетический антиоксидант) минеральной среды выращивания может влиять на биосинтез каротиноидов и хлорофиллов в клетках *Dunaliella salina*.

Цель исследования: изучение в оптимальных и в условиях низкотемпературного стресса влияния различных концентраций 2,6 ди-*трет*-бутил крезола (ионола) в минеральной среде на рост и биосинтез пигментов в клетках *Dunaliella*.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служила зеленая микроводоросль *Dunaliella salina* IPPAS D-294, выделенная из соленого озера Масазыр, находящегося на северо-западе территории города Баку.

Водоросли выращивали при температуре 27 °C в стеклянных фотореакторах (250 мл), на установке для выращивания культур одноклеточных водорослей. Минеральная среда содержала (г/л): NaCI – 175 (3,0 M); KNO_3 – 5,0; KH_2PO_4 – 1,25; $MgSO_4$ – 50; $FeSO_4$ – 0,009 раствор микроэлементов (мг/л) – $Ca(NO_3)_2 \cdot H_2O$ – 735; H_3BO_3 – 735; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 615; $(NH_4)MoO_4$ – 100; $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ – 180. Суспензию клеток в фотореакторах в течение 24 ч освещали белым светом (16 Вт/м^2) и непрерывно продували смесью (воздух + 1,5 % CO_2) с температурой 27 °C для контрольных и 5 °C для опытных суспензий (низкотемпературный стресс). Клетки выращивали в течение 24 ч, в интенсивно-накопительном режиме культивирования и освещали круглосуточно. Рост культуры определяли периодическим подсчетом числа клеток в камере Горяева под микроскопом или нефелометрическим измерением оптической плотности суспензии на фотоэлектроколориметре.

В работе были использованы 2,6 ди-*трет*-бутил крезол (ионол) в концентрациях 25–500 мкМ. Ионол (М.в. 220,35 г/моль) в чистом виде порошок белого цвета, хорошо растворимый в этиловом спирте. В суспензию клеток добавляли синтетический антиоксидант с фиксированными концентрациями (25; 50; 150; 250; 350; 500 мкМ) и выращивали в течение 24 ч.

Содержание пигментов в клеточных экстрактах (100 % ацетон) измеряли на спектрофотометре и рассчитывали на основании коэффициентов Веттштейна [9].

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 (кривая 1) представлены результаты динамики роста культуры микроводоросли *Dunaliella* в оптимальных условиях (температура 27 °C, интенсивность света 16 Вт/м^2, содержание CO_2 в воздушной смеси 1,5 %, минеральная среда, содержащая 3,0 M NaCI). Выращивание клеток в 250 мл стеклянных фотореакторах и подаче воздушной смеси с температурой 25 °C в интенсивно-накопительном режиме культивирования в течение 24 ч показали, что оптическая плотность клеточной суспензии увеличивается в 3 раза.

Такая тенденция роста популяции продолжается и в последующих повторных вариантах выращивания контрольных суспензий. Подача в фотореакторы воздушной смеси с температурой 5 °C (низкотемпературный стресс) приводит к замедлению роста и снижению биопродуктивности на 25 % (кривая 2). Несмотря на снижение динамики роста популяции при низкотемпературном стрессе деление клеток в течение 24-часового культивирования в интенсивно-накопительном режиме составляет высокий показатель (увеличение оптической плотности в 2,5 раза). В этих условиях добавляли в минеральную среду выращивания синтетический антиоксидант 2,6 ди-*трет*-бутил фенол в различных концентрациях и прослеживали динамику роста культуры.

На рис. 2 представлена зависимость роста клеток *Dunaliella salina* IPPAS D-294 в интенсивно-накопительном режиме культивирования от различных концентраций ионола в минеральной среде. Как видно из рисунка, присутствие ионола в минеральной среде выращивания при высокой солености в оптимальном (1) и низкотемпературном (2) режимах культивирования заметно влияет на рост культуры. Так, при концентрациях 25 мкМ и 50 мкМ в минеральной среде ионола в оптимальном (1) режиме культивирования наблюдается стимуляция динамики роста культуры клеток на 4 % и 6 % соответственно, по отношению к контрольным суспензиям. При концентрациях (150; 250; 350 мкМ) в минеральной среде стимуляция роста остается на высоком уровне (107; 106; 102 %). Значит, 2,6 ди-*трет*-бутил крезол при концентрациях 25–350 мкМ сопоставим с активностью обычных фитогормонов [1].

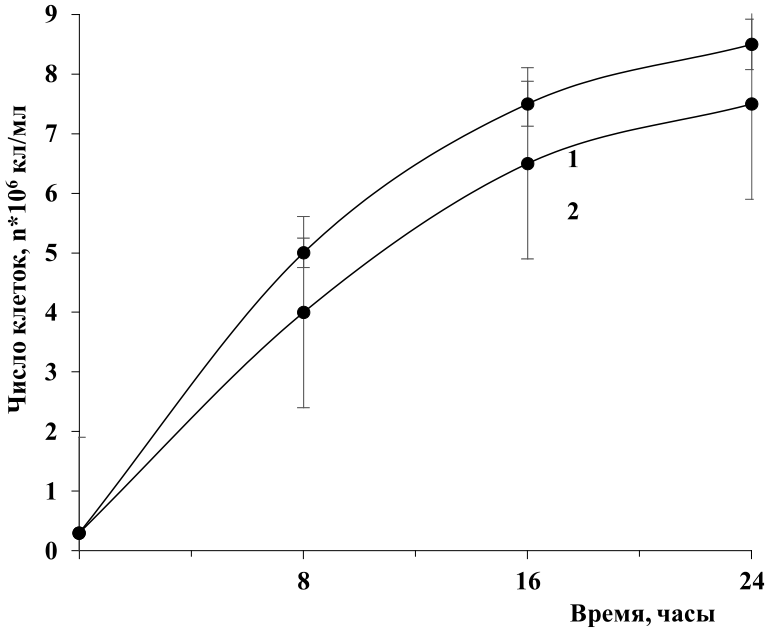


Рис. 1. Динамика роста популяции клеток Dunaliella salina IPPAS D-294 при высокой солености в оптимальном (1) и низкотемпературном (2) режимах культивирования. Температура 27 °С, интенсивность света 16 Вт/м²

При повышении содержания 2,6 ди-*трет*-бутил крезола в минеральной среде (500 мкМ) оно приобретает обратный знак, наблюдается подавление до (8–9 %) соответственно роста культуры в течение 24-часового культивирования в интенсивно-накопительном режиме. Под влиянием этого синтетического антиоксиданта максимальная дифференцировка наблюдается при концентрации 150 мкМ (7 %) по сравнению с контрольными клетками. Сравнительное изучение зависимости роста популяции клеток *Dunaliella salina* IPPAS D-294 от различных концентраций 2,6 ди-*трет*-бутил крезола в минеральной среде с высокой соленостью, в условиях низкотемпературного стресса показала, что присутствие ионола в среде выращивания заметно влияет на рост культуры (рис. 2, кривая 2). Так, в диапазоне концентраций 25–350 мкМ в минеральной среде 2,6 ди-*трет*-бутил крезола наблюдается стимуляция роста культуры, которая превышает на 5–8 % контрольные суспензии клеток. Повышение концентрации синтетического антиоксиданта до 500 мкМ рост популяции клеток *Dunaliella* остается на контрольном уровне 100 %. В данном эксперименте видно, что присутствие различных концентраций 2,6 ди-*трет*-бутил крезола в минеральной среде с высокой соленостью в диапазоне 25–500 мкМ не сказывается (подавление роста не наблюдается) на биопродуктивности водорослей. В данном случае увеличивается толерантность клеток к антиоксиданту по сравнению с клетками, выращенными при оптимальном режиме культивирования, вероятно, связанного с работой эндогенной антиоксидантной системы клеток и 2,6 ди-*трет*-бутил креола.

Выраженная ростостимулирующая активность 2,6 ди-*трет*-бутил крезола при его концентрациях 25–350 мкМ в минеральной среде с высокой соленостью в оптимальном режиме культивирования и в диапазоне концентраций 25–500 мкМ при низкотемпературном стрессе делает этот антиоксидант перспективным и эффективным средством доступной и надежной регуляции (активации) роста культуры клеток *Dunaliella salina* IPPAS D-294.

На рис. 3 представлены результаты зависимости биосинтеза пигментов в клетках *Dunaliella salina* IPPAS D-294 от различных концентраций ионола в минеральной среде, выращенных при оптимальных условиях. Как видно из рисунка, ростостимулирующие концентрации 25–350 мкМ и последующая высокая концентрация 500 мкМ ионола снижают биосинтез общего количества хлорофиллов (до 82 % хлорофилла *а*; 85 % хлорофилла *в*), синтез суммы каротиноидов при этом несколько увеличивается до 6 %, по отношению к контрольным клеткам. Это

характерно для водоросли *Dunaliella* где четко сказано, что при изменении условий существования абсолютное содержание и соотношение пигментов меняется [5]. Концентрации синтетического антиоксиданта в минеральной среде не влияют на соотношения хлорофилла *а* и хлорофилла *в*. При этом соотношения хлорофиллы/каротиноиды снижаются с увеличением концентрации ионола в минеральной среде.

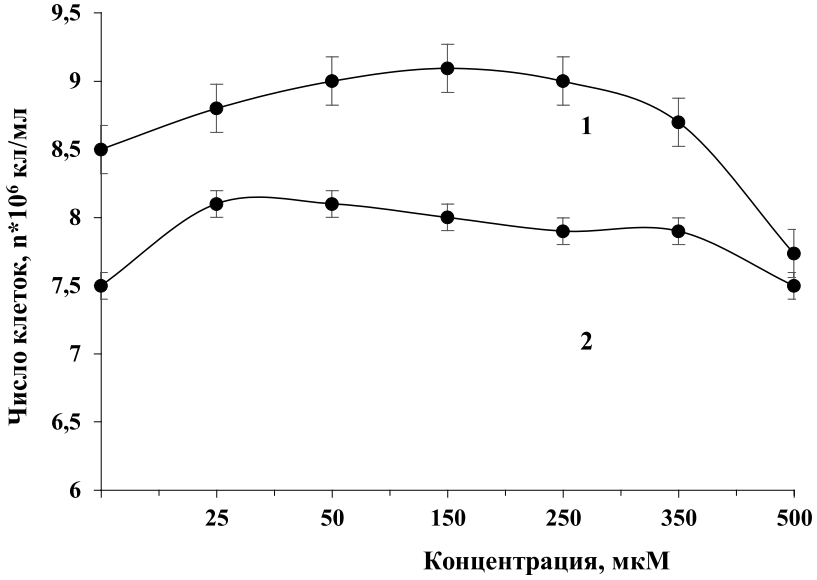


Рис. 2. Зависимость динамики роста популяции контрольных клеток Dunaliella salina IPPAS D-294 от различных концентраций ионола в минеральной среде (3,0 NaCI) при оптимальном (1) и низкотемпературном (2) режимах культивирования. Температура 27 °С, интенсивность света 16 Вт/м²

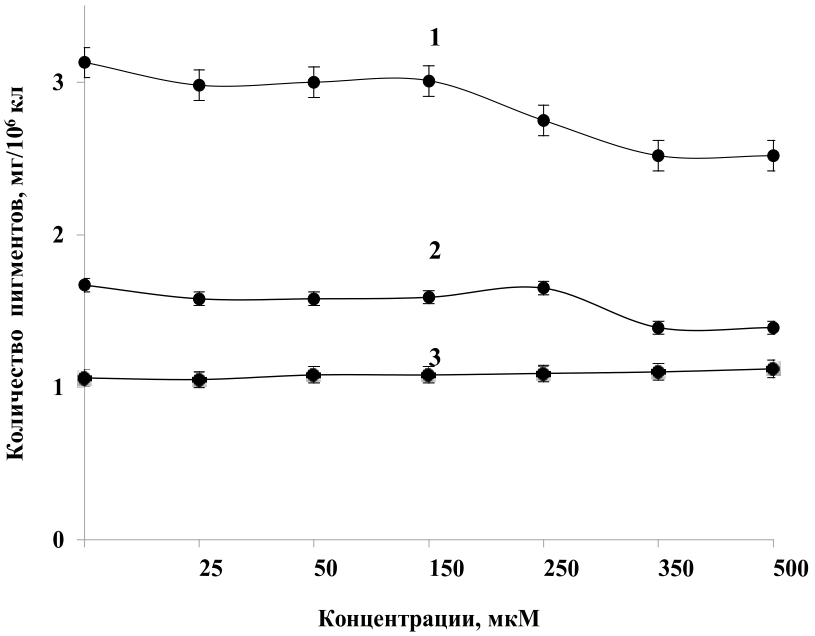


Рис. 3. Зависимость биосинтеза пигментов в клетках Dunaliella salina IPPAS D-294 от различных концентраций 2,6 ди-трет-бутил крезола в минеральной среде (3,0 NaCI), выращенных при оптимальном режиме культивирования. 1 – биосинтез хлорофилла а; 2 – биосинтез хлорофилла в; 3 – биосинтез суммы каротиноидов. Температура 27 °С, интенсивность света 16 Вт/м²

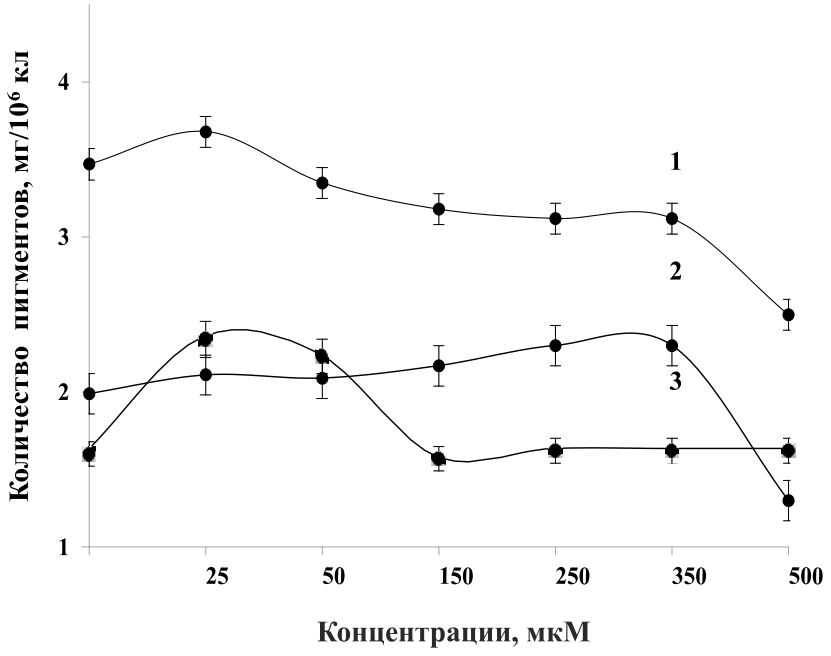


Рис. 4. Зависимость биосинтеза пигментов в клетках Dunaliella salina IPPAS D-294 от различных концентраций 2,6 ди-трет-бутил крезола в минеральной среде (3,0 NaCI), выращенных в условиях низкотемпературного стресса. 1 – биосинтез хлорофилла а; 2 – биосинтез хлорофилла в; 3 – биосинтез суммы каротиноидов. Температура 27 °С, интенсивность света 16 Вт/м²

На рис. 4 представлены результаты зависимости биосинтеза пигментов в клетках *Dunaliella salina* IPPAS D-294 от различных концентраций ионола в минеральной среде, выращенных в условиях низкотемпературного стресса. Как видно из рисунка, ростостимулирующие концентрации и последующие высокие концентрации ионола повышает биосинтез хлорофилла *а* (25мкМ), в интервале концентраций 50–500 мкМ биосинтез хлорофилла *а* снижается до 72%. В этих условиях биосинтез хлорофилла *в* при концентрациях (25–350 мкМ) повышается до 15%, а при 500 мкм резко снижается 65%. Низкотемпературный стресс и увеличение концентрации синтетического антиоксиданта ионола в минеральной среде (3,0 NaCI) биосинтез суммы каротиноидов клетками повышается при концентрациях 25 и 50 мкМ на 46% и 39% соответственно, затем снижается и остается на контрольном уровне. В этих исследованиях увеличение концентрации синтетического антиоксиданта ионола в минеральной среде приводит к уменьшению соотношения хлорофилла *а* / хлорофилла *в*. Соотношения хлорофиллы/каротиноиды, при концентрациях 25–500 мкМ уменьшаются, по отношению к контрольным клеткам.

Таким образом, увеличение концентрации синтетического антиоксиданта ионола в минеральной среде при оптимальных условиях выращивания клеток *Dunaliella salina* IPPAS D-294 соотношения хлорофилла *а* / хлорофилла *в* не меняется. Синтетический антиоксидант ионол в минеральной среде (3,0 NaCI) выращивания приводит к уменьшению соотношения хлорофиллы/каротиноиды в клетках. Низкотемпературный стресс увеличивает толерантность клеток к действию синтетического антиоксиданта ионола. В этом случае наблюдается уменьшение соотношения хлорофилла *а* / хлорофилла *в*, а также снижению соотношения хлорофиллы/каротиноиды, за счет подавления синтеза суммы хлорофиллов.

Список литературы

1. Масюк Н.П. Морфология, систематика, экология, географическое распространение рода *Dunaliella* Teod. Киев: Наукова думка, 1973. 244 с.

2. Burak H., Dunbar A., D. James Gilmour D.J. Enhancement of *Dunaliella salina* growth by using wavelength shifting dyes. Journal of Applied Phycology. october 2019. Vol. 31. Issue 5. P. 2791–2796.

3. Али-заде Г.И., Магеррамова Х.Х., Джалилова А.Р., Алиев И.И., Гасанова Г.С., Дибирова Г.Г. Ответные реакции клеток *Dunaliella* при низкотемпературном стрессе // Экология и водное хозяйство. 2012. № 5. С. 20–23.

4. Alizadeh G.I., Jalilova A.R., Maharramova Kh.Kh., Aliev I.I., Dibirova G.H., Gasanova G.S. The antioksidative ac-

tivity of *Dunaliella* cells under low temperature stress. International Journal of Biopharmaceutical and Nanomedical Sciences. 2013. Vol. 2 (1). P. 74–78.

5. Климов С.В. Морозостойкость растений озимой пшеницы зависит от адаптации фотосинтеза и дыхания в разных временных интервалах // Известия РАН, серия биологическая. 2009. № 3. С. 313–322.

6. Алинкина Е.С., Мишарина Т.А., Фаткулина Л.Д., Бурлакова Е.Б. Сравнение антирадикальной активности ионола, компонентов свежего имбиря и его экстрактов // Прикладная биохимия и микробиология. 2012. Т. 48. № 5. С. 564–569.

7. Saha S.K., Kazipet N., Murray P. The Carotenogenic Dunaliella salina CCAP 19/20 Produces Enhanced Levels of Carotenoid under Specific Nutrients Limitation. BioMed Research International. Vol. 2018. Article ID 7532897. 11 p.

8. Chernobai N., Kadnikova N., Kovalenko I. The role of cold adaptation incryoprevation of dunaliella salina ted.microalgae. Advances in Biology & Earth Sciences. 2019. Vol. 4. No. 2. P. 119–127.

9. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений // Высшая школа. 1975. 392 с.

УДК 159.91

ПСИХОФИЗИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПЕРВОГО КУРСА КОЛЛЕДЖА К УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Быструшкин С.К., Селиверстова И.Г., Тютерева И.А., Тютерев В.Н., Грибцова Л.С., Гениатулина Е.В.

Анапский филиал ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет», Анапа, e-mail: bistrushkin@mail.ru, ig.seliverstova@mpgu.su, tjutereva@yandex.ru, gribcova-luda@mail.ru, genilen@gmail.com

В статье представлены результаты исследования особенностей психофизической адаптации обучающихся девушек первого курса учреждения среднего профессионального образования к учебной деятельности. Необходимость принятия обучающимися эффективного решения в новых условиях учебной деятельности, оптимального адаптивного самоопределения, которое тождественно нахождению смысла жизни, приводит к возникновению у них тревоги и дезадаптации, что сопровождается эмоциональными, физиологическими и поведенческими отклонениями. Физическое и психическое развитие остается одним из важнейших показателей здоровья, отражающих уровень развития функциональных возможностей, степень адаптации организма к различным факторам внешней среды. Материалы исследования свидетельствуют о том, что у обучающихся в начальный период учебной деятельности отмечается повышение уровня личностной и ситуативной тревожности. Возрастает нервно-психическое напряжение, что может свидетельствовать об активной психофизической перестройке стереотипных образцов поведения, переоценке системы ценностей и убеждений. В зависимости от ситуации, обучающиеся чаще используют поведенческую стратегию поиска социальной поддержки при решении возникающих проблем и в меньшей степени применяют личностные адаптивные навыки. Показано, что процесс психофизической адаптации обучающихся в условиях постоянного воздействия стрессоров, хронического переутомления в сочетании с эмоциональной нестабильностью, протекает преимущественно по пассивно-оборонительному типу.

Ключевые слова: психофизическая адаптация, тревожность, учебная деятельность, стратегия поведения, стресс

PSYCHOPHYSICAL ADAPTATION OF STUDENTS OF THE FIRST COLLEGE COURSE TO EDUCATIONAL ACTIVITY

Bystrushkin S.K., Seliverstova I.G., Tyutereva I.A., Tyuterev V.N., Gribtsova L.S., Geniatulina E.V.

Anapa branch of Moscow State Pedagogical University, Anapa, e-mail: bistrushkin@mail.ru, ig.seliverstova@mpgu.su, tjutereva@yandex.ru, gribcova-luda@mail.ru, genilen@gmail.com

The article presents the results of a study of the characteristics of the psychophysical adaptation of first-year students, secondary vocational education to educational activities. The need for students to make an effective decision in the new conditions of educational activity, optimal adaptive self-determination, which is identical to finding the meaning of life, leads to their anxiety and maladaptation, which is accompanied by emotional, physiological and behavioral deviations. Physical and mental development remains one of the most important indicators of health, reflecting the level of development of functional capabilities, the degree of adaptation of the body to various environmental factors. The research materials indicate that students in the initial period of educational activity have an increase in the level of personal and situational anxiety. The neuropsychic tension is increasing, which may indicate an active psychophysical restructuring of stereotyped patterns of behavior, a reassessment of the system of values and beliefs. Depending on the situation, students more often use the behavioral strategy of finding social support in solving problems and to a lesser extent apply personal adaptive skills. It is shown that the process of students' psychophysical adaptation under the conditions of constant exposure to stressors, chronic overfatigue, combined with emotional instability, proceeds predominantly in a passive-defensive type.

Keywords: psychophysical adaptation, anxiety, educational activity, behavior strategy, stress

На современном этапе проблема сохранения и укрепления здоровья учащейся молодежи в процессе психофизической адаптации к новым условиям обучения на специальностях среднего профессионального образования является сложной и чрезвычайно актуальной. В последние годы растет число студентов, имеющих отклонения в состоянии здоровья [1–4]. В процессе психофизической адаптации путем перестройки мышления, восприятия, поведения, индивидуальных особенностей физического развития происходит приспособление обучающихся к учебному ритму. Физическое и психическое развитие остается одним из важнейших показателей здоровья, отражающих уровень развития функциональных возможностей, степень адаптации организма к различным факторам внешней среды.

Многочисленные социально-психологические факторы оказывают активное влияние на эффективность учебной и профессиональной деятельности обучающихся [5]. У учащихся отмечается низкий уровень мотивации к занятиям по физической подготовке, наблюдается недостаток навыков физкультурной грамотности. Зависимость между психическим состоянием и физической подготовкой является одной из причин снижения показателей развития скоростных, волевых и силовых качеств обучающихся, которые не могут заниматься в основной группе и выполнять нормативные требования по физической культуре [6, 7]. Необходимость принятия студентами эффективного решения в новых условиях, правильности адаптивного самоопределения, которое тождественно нахождению смысла жизни, приводит к возникновению у них тревоги и дезадаптации, что сопровождается эмоциональными, физиологическими и поведенческими отклонениями.

Цель исследования: изучить особенности психофизической адаптации обучающихся среднего профессионального образования (СПО) на начальном этапе обучения, что позволит обеспечить эффективность их дальнейшего развития как личностей и как будущих специалистов.

Материалы и методы исследования

С целью выяснения психофизических особенностей адаптации обучающихся к новым условиям учебной деятельности, было проведено экспериментальное исследование среди обучающихся девушек первого курса СПО в количестве 60 человек. Исследование проводилось в Анапском филиале ФГБУ ВО «Московский педагогический государственный университет». В ходе исследования по общепринятым методикам определялся уровень физического развития и физической подготовленности девушек. Для оценки уровня физического развития измеряли показатели: длина тела (ДТ, см), масса тела (МТ, кг). По антропометрическим показателям рассчитывался индекс Кетле = (МТ/ДТ кг/м^2).

Для оценки уровня физической подготовленности измерялись следующие показатели: прыжок в длину с разбега, максимальное количество отжиманий из положения лежа, бег на дистанцию 100 и 500 м. Для исследования психологических качеств применялись следующие общепринятые методы: Индикатор копинг-стратегий, Дж. Амирхан. Шкала тревоги Спилбергера – Ханина. Многофакторный личностный опросник FPI (А.А. Крылов, Т.И. Ронгинский, 1989), а также сравнение, обобщение и анкетирование. Полученные результаты исследования обрабатывались методами математической статистики и сравнивались с аналогичными данными литературы.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из наиболее важных факторов психофизической адаптации студентов, когда завершается развитие многих физиологических систем организма, являются показатели физического развития и физической подготовленности, реализуемых в системе физического воспитания. Анализ полученных данных, представленных в таблице. показал, что уровень физического развития девушек соответствует нормальному соотношению длины тела к его массе.

При этом было установлено, что средний уровень физической подготовленности по силовым и скоростным показателям у девушек был ниже нормативов всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне» (ГТО). Выявленные особенности слабой физической подготовленности девушек предположительно могут привести к нарушению социально-психофизической адаптации или значительно осложнить этот процесс. В связи с чем был проведен анализ психологических показателей.

Было установлено, что у большинства испытуемых отмечалось состояние эмоционального напряжения, о чем свидетельствовали показатели личностной (53,7 балла) и ситуативной (46,3 балла) тревожности, интерпретируемые как высокий уровень тревожности (46 и более баллов), напрямую зависящий от силы воздействия стрессовой ситуации. При этом у девушек отмечался низкий уровень фрустрации при высоких показателях ригидности, что может свидетельствовать о сохранении у них выработанных стереотипов поведения и использования их как приемов психофизической защиты в стрессовых ситуациях. На следующем этапе было проведено исследование уровня базисных стратегий поведения обучающихся. Было установлено, что в новых условиях, в зависимости от ситуации, девушки активно применяют психологические механизмы стратегии поведения в зависимости от возникающих стрессовых ситуаций. Выбор поведенческой стратегии поиска социальной поддержки, когда они обращаются за помощью к семье, друзьям, знакомым, составлял 58,3 % от общего числа обследуемых.

Показатели физической подготовленности обучающихся первого курса колледжа

Показатели	Длина тела, см	Масса тела, кг	Индекс Кетле	Бег 100 м	Бег 500 м	Прыжок с разбега, см	Отжимание упор лежа
Нормативы ГТО			18–25	16,4–17, 8	1,5–2	320–270	17–10
Девушки	168	55	19,6	18,1	2,8	2,3	5

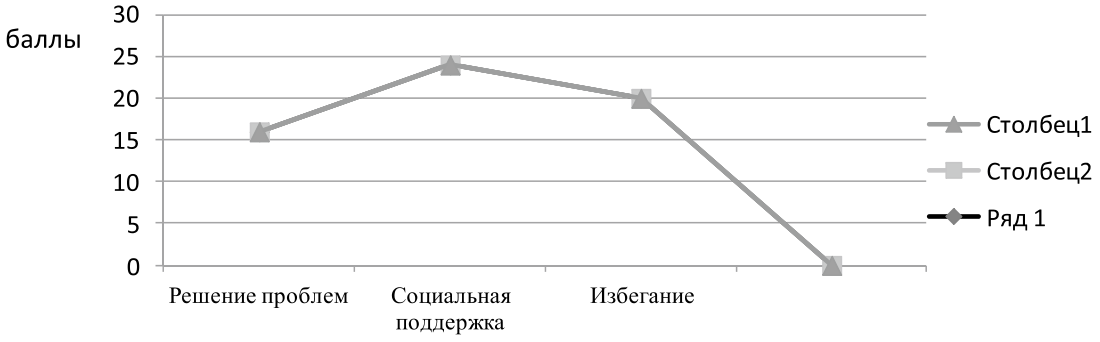


Рис. 1. Копинг-стратегии поведения обучающихся первого курса колледжа

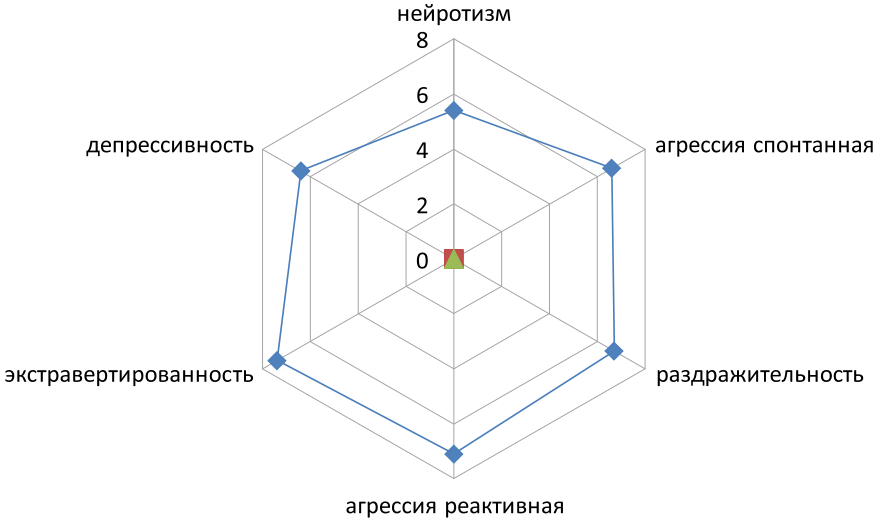


Рис. 2. Показатели уровня нервно-психического напряжения обучающихся первого курса колледжа

Значительно меньшее количество студенток, которое составило 23,3 %, предпочтительно выбирали стратегию избегания, предполагающую отказ от активного изменения ситуации и самостоятельного решения возникшей проблемы. К использованию своих личностных навыков, обеспечивающих оптимальные условия адаптации, прибегали лишь 18,3 % обследованных (рис. 1).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что у обучающихся СПО происходит моделирование образцов поведения в соответствии с новыми социальными условиями. Вследствие чего повышается уровень личностной и ситуативной тревожности, обуславливающей поиск эффективного разрешения проблемы психофизической адаптации к новым условиям обучения. Анализ показателей, полученных при помощи многофакторного личностного опросника (FPI), показал (рис. 2), что в процессе психофизической адаптации у обучающихся колледжа возникает нервно-психическое напряжение, требующее перестройки всей адаптационной системы организма.

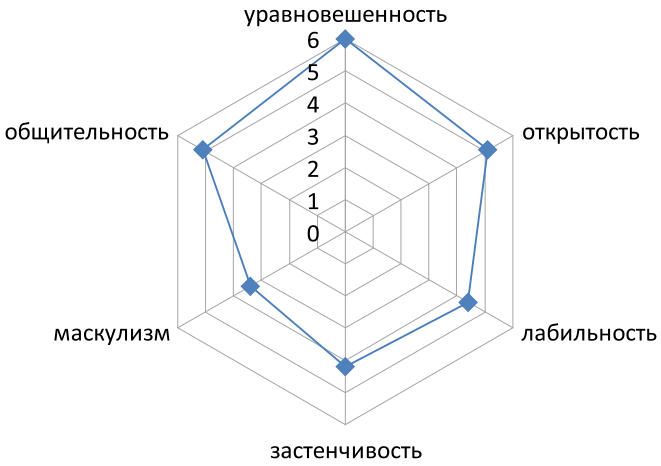


Рис. 3. Показатели стрессоустойчивости обучающихся первого курса колледжа

Относительно высокие показатели раздражительности, спонтанной и реактивной агрессии в сочетании с выраженной депрессивностью и экстравертированностью личности, позволяют судить о неустойчивом эмоциональном состоянии обучающихся со склонностью к аффективному реагированию и импульсивному поведению.

Для оценки стрессоустойчивости обучающихся были проанализированы показатели уравновешенности, общительности, открытости, эмоциональной лабильности, застенчивости и маскулизма, представленные на рис. 3. Средние по величине показатели, полученные в ходе исследования, могут свидетельствовать о протекании психофизической адаптации преимущественно по пассивно-оборонительному, мужскому типу, с относительно повышенной чувствительностью к критике и замечаниям.

Заключение

Таким образом, в проведенном исследовании показано, что в процессе психофизической адаптации обучающихся первого курса колледжа к учебной деятельности происходит активная перестройка образцов поведения, переоценка системы ценностей. Вследствие чего отмечается повышение уровня личностной и ситуативной тревожности, возрастание нервно-психического напряжения. В зависимости от ситуации девушки активно применяют поведенческую стратегию поиска социальной поддержки для решения возникающих проблем и в меньшей степени используют личностные навыки адаптивного поведения. Показано, что процесс психофизической адаптации у обучающихся первого курса колледжа к учебной деятельности протекает преимущественно по пассивно-оборонительному типу, при неустойчивом эмоциональном состоянии.

Список литературы

1. Борисова Н.Ю., Галкина Т.Н., Якимова Я.Е. Особенности занятий физической культурой со студентами специальной медицинской группы // Актуальные вопросы современной педагогики: материалы VIII Международная научная конференция. Самара: ООО «Издательство АСГАРД», 2016. С. 248–251.

2. Максимова Т.А. Сравнительный анализ показателей физического развития и физической подготовленности девушек специальной медицинской группы, проживающих в условиях Крайнего Севера // Международный журнал экспериментального образования. 2019. № 1. С. 16–21.

3. Безнис Е.Е. Влияние психического состояния на физическую подготовку студентов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 1 (6). С. 187–193.

4. Аксенова О.Е. Социально-психологическая адаптация первого курса // Психология человека в условиях здоровья и болезни: Материалы V Международной научно-практической конференции. 2015. С. 71–77.

5. Глухова Е.С. Актуальные проблемы готовности к профессиональному самоопределению учащейся молодежи // Психология обучения. 2010. № 12. С. 64–67.

6. Кушнерова О.Ф., Кушнерова Ю.Ю. Специфика социально-психологической адаптации студентов первого курса к обучению в вузе // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–10. С. 2314–2317.

7. Моор Т.В., Моисеенко С.А. Оценка готовности студенток первого курса к учебной деятельности по физической культуре в вузе // Современные проблемы физической культуры и спорта: Материалы XVII Всероссийской научной конференции. 2013. С. 185–189.

УДК 579.64

АГРОНОМИЧЕСКИ ЦЕННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ И ИХ АССОЦИАЦИЯ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Смирнова И.Э., Саданов А.К.

ТОО «НПЦ микробиологии и вирусологии», Алматы, e-mail: iesmirnova@mail.ru

Сахарная свекла является одной из наиболее экономически значимых технических культур. Однако урожайность этой культуры в России и Казахстане по сравнению с другими странами мира невысокая. Одной из причин снижения урожайности сахарной свеклы являются ее болезни. Наибольший урон наносят корневые гнили, вызываемые фитопатогенными грибами. Целью данного исследования было выделение и отбор новых высокоактивных штаммов азотфиксирующих, фосфатмобилизующих и целлюлолитических бактерий и создание на их основе ассоциации агрономически ценных микроорганизмов для биоконтроля корневых гнилей сахарной свеклы, стимуляции развития и повышения ее урожайности. Из почв Жамбылской области Казахстана были выделены новые штаммы азотфиксирующих, фосфатмобилизующих и целлюлолитических бактерий. Исследована их биологическая активность и отобраны наиболее активные. Для создания эффективной ассоциации проведено исследование биосовместимости штаммов и подобраны штаммы с отсутствием антагонизма по отношению друг к другу. На основе этих штаммов создана ассоциация агрономически ценных микроорганизмов. Изучение ростостимулирующих свойств ассоциации выявило ее высокое положительное влияние на рост и развитие растений сахарной свеклы. Так, при инокуляции семян бактериальной суспензией ассоциации длина стебля растений увеличилась в 2,0 раза, корней – 2,5 раза по сравнению с контролем. Проведенные исследования показали, что ассоциация является перспективным агентом для биоконтроля фитопатогенных грибов, вызывающих корневые гнили сахарной свеклы, так как обладает высокой антифунгальной активностью. В отношении гриба *Fusarium oxysporum* она проявлялась формированием зоны лизиса диаметром 30 мм; в отношении *Fusarium solani* – 39,7 мм; в отношении гриба *Alternaria alternata* – 48,5 мм. Новизна данного исследования заключается в том, что создана ассоциация агрономически ценных микроорганизмов, на основе новых аборигенных штаммов бактерий, адаптированных к природно-климатическим условиям Казахстана. Созданная ассоциация обладает комплексным действием: стимулирует развитие растений сахарной свеклы и характеризуется высокой антифунгальной активностью по отношению к основным фитопатогенным грибам, вызывающим корневые гнили этой культуры.

Ключевые слова: азотфиксирующие, фосфатмобилизующие, целлюлолитические бактерии, ассоциация агрономически ценных микроорганизмов, ростостимуляция, антифунгальная активность, сахарная свекла

AGRICULTURALLY IMPORTANT MICROORGANISMS AND THEIR ASSOCIATION FOR AGRICULTURE

Smirnova I.E., Sadanov A.K.

LP «Scientific Production Center of Microbiology and Virology», Almaty, e-mail: iesmirnova@mail.ru

Sugar beet is one of the most economically significant industrial crops. However, the yield of this crop in Russia and Kazakhstan compared with other countries of the world is not high. The main reason for the decline in sugar beet yield is its disease. The most harmful of which are root rot caused by phytopathogenic fungi. The aims of this study was the isolation and selection of highly active strains of nitrogen-fixing, phosphate-mobilizing and cellulolytic bacteria, and the creation on their basis of the Associations of agriculturally important microorganisms for the biocontrol of root rot, stimulation of sugar beet and increase its yield. Nitrogen-fixing, phosphate-mobilizing and cellulolytic bacteria were isolated from the soils of the Zhambyl region of Kazakhstan. Their biological activity was studied; strains with high activity were selected. To create an effective association, the biocompatibility of strains was studied and strains with no antagonism to each other were selected. On the basis of these strains, an association of agronomically important microorganisms was created. It is shown that the association has a high positive effect on the development of sugar beet plants. So, when the seeds were inoculated with bacterial suspension by the association, the length of the stem increased 2.0 times, the roots 2.5 times compared to the control. Studies have shown that the association is a promising agent for the biocontrol of phytopathogenic fungi that cause root rot of sugar beet, as it has high antifungal activity. The zone of inhibition of the growth of the fungus *Fusarium oxysporum* was 30 mm in diameter; *Fusarium solani* – 39.7 mm; *Alternaria alternata* – 48.5 mm. The novelty of this study is the creation of an association of agronomically important microorganisms, based on novel native bacterial strains adapted to the climatic conditions of Kazakhstan. The created association has a complex effect: it stimulates the growth of sugar beet plants and has high antifungal activity against phytopathogenic fungi that cause root rot of this crop.

Keywords: nitrogen-fixing, phosphate-mobilizing, cellulolytic bacteria, association of agronomically important microorganisms, growth stimulation, antifungal activity, sugar beet

Сахарная свекла – одна из основных технических культур. В мировом земледелии она занимает значительную площадь – 7,913 млн га, в наибольшем количестве сахарная свекла производится в России, за ней следуют Франция и Соединенные Штаты [1]. В то же время урожайность сахарной свеклы в России и Казахстане по сравнению с другими странами низкая. Так, урожайность сахарной свеклы в США

составляет 530–650 ц/га, во Франции – 840–910 ц/га, России – 450–470 ц/га, в Казахстане этот показатель составляет всего лишь 153–285 ц/га [2]. Выращивание сахарной свеклы наносит существенный урон почвам, так как с урожаем выносится большое количество питательных элементов, что вызывает сокращение почвенной микробной массы и ее биоразнообразия. Кроме того, многие свеклосеющие хозяйства не применяют ротацию культур и сеют сахарную свеклу на полях до 5–7 лет, что приводит к накоплению фитопатогенов, вызывающих болезни сахарной свеклы. Вследствие этого нередко в почвах хозяйств наблюдается массовое развитие гнилей корнеплодов сахарной свеклы, видовой состав которых представлен лишь 2–3 видами фитопатогенных грибов. Так, потери урожая сахарной свеклы от корневых гнилей в России доходят до 30%, в Казахстане – до 40% [3, 4]. Во многих странах мира корневые гнили также наносят существенной урон урожайности сахарной свеклы (до 30–35%) [5].

Одним из путей решения этой проблемы является биологизация земледелия, достоинствами которой являются: экологичность; снижение затрат и повышение качества продукции. Существенным фактором восстановления плодородия почвы является применение агрономически ценных микроорганизмов. Именно эти микроорганизмы осуществляют в почве процесс гумификации растительных остатков и органических веществ почвы и занимают основное место в обогащении почв гумусом – главного фактора плодородия почвы. В состав ассоциаций, как правило, входят основные группы почвенных микроорганизмов: азотфиксирующие, целлюлолитические, фосфатмобилизующие и силикатные.

Почва является основным природным банком при поиске культур микроорганизмов с любыми необходимыми свойствами. По некоторым данным штаммы, выделенные из ризосферы, активно колонизируют корневую зону растений и синтезируют биологически активные вещества, способствующие их развитию [6, 7]. Также обнаружено, что микроорганизмы синтезируют метаболиты, способные подавлять рост и развитие патогенных для растений микроорганизмов [8].

Нахождение штаммов агрономически ценных микроорганизмов и создание на их основе ассоциаций для сельского хозяйства, положительно влияющих на развитие растений и подавляющих развитие фитопатогенов, вызывающих болезни растений, является весьма актуальной задачей.

Целью данного исследования было выделение и отбор новых высокоактивных штаммов азотфиксирующих, фосфатмобилизующих и целлюлолитических бактерий и создание на их основе ассоциации агрономически ценных микроорганизмов для биоконтроля корневых гнилей сахарной свеклы, стимуляции развития и повышения ее урожайности.

Новизна данного исследования заключается в том, что создана ассоциация агрономически ценных микроорганизмов, на основе новых аборигенных штаммов бактерий, адаптированных к природно-климатическим условиям Казахстана. Созданная ассоциация обладает комплексным действием: стимулирует рост и развитие растений сахарной свеклы и характеризуется высокой антифунгальной активностью по отношению к основным фитопатогенным грибам, вызывающим корневые гнили этой культуры.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили штаммы азотфиксирующих, фосфатмобилизующих и целлюлолитических бактерий, выделенные из почв Жамбылской области Казахстана в весенний период 2018 г., и ассоциация, созданная на их основе. Сбор образцов почв проводили в соответствии с методикой ГОСТа [9]. Выделение бактерий согласно методике [10]. Целлюлолитические бактерии выделяли на среде Гетчинсона с 1% Na-КМЦ (водорастворимая Na-карбоксиметилцеллюлоза), азотфиксирующие – на среде Эшби, фосфатмобилизующие микроорганизмы – на среде Муромцева.

Нитрогеназную активность бактерий определяли ацетиленовым методом [11]. Для этого бактерии выращивали на среде Эшби. Ацетилен вводили в сосуды с культурами до концентрации 10% (по объему). После инкубации культур в течение 1,5 ч в атмосфере ацетилена пробы газа отбирали шприцем по 1 мл из сосуда и определяли наличие этилена на газовом хроматографе «Agilent Technology 7890 B» (США) с пламенно-ионизационным детектором.

Определение способности бактерий к мобилизации фосфатов проводили по модифицированной методике Сэги на среде Муромцева, содержащей нерастворимый трикальцийфосфат в виде мелкодисперсного осадка, придававшего питательной среде равномерную мутность [12]. Фосфатмобилизующую активность бактерий оценивали количественно по диаметру зон «гало» без вычета диаметра лунки и выражали в мм.

Целлюлазную активность (КМЦ-азаная) бактерий определяли по диаметру зон гидролиза твердой среды с 0,1% Na-КМЦ после окрашивания раствором красителя конго-рот и соответственного пересчета, выражали в ед/мл [13].

Биомассу микроорганизмов определяли нефелометрически на спектрофотометре PD-303 («Apel», Japan) и пересчитывали по калибровочной кривой на вес абсолютно сухой биомассы (АСБ, г/л).

Для изучения ростостимулирующей способности ассоциаций бактерии выращивали на жидких элективных средах при 180 об/мин, 28°С в течение 5–7 суток до концентрации $1x10^7$ кл/мл и смешивали в соотношении 1:1:1. В опытах использовали семена сахарной свеклы сорта «Айсултан». Семена перед посевом обрабатывали суспензией ассоциации в концентрации 1×10^7 кл/мл на 1 г семян в течение 2 ч при комнатной температуре. В контроле семена замачивали в водопроводной воде. Через 30 дней проводили измерение длины стебля и корней растений и сравнивали их с контрольным вариантом. Эксперименты проводились в климатической камере для выращивания растений («Memmert HPP-750», Германия). Опыты проводили в 3-кратной повторности (12 растений на повторность).

Антифунгальные свойства ассоциации определяли методом агаровых блоков [14]. В расплавленную и остуженную до 40 °С среду картофельно-декстрозный агар (КДА) вносили суспензию конидий грибов (10^8 КОЕ/мл) из расчета 1 мл на 100 мл среды и разливали в чашки Петри. Бактерии, входящие в состав ассоциации выращивали на жидких элективных средах до концентрации 10^7 кл/мл и смешивали в соотношении 1:1:1. Затем в среде КДА, предварительно засеянной культурами фитопатогенных грибов, буром (диаметр 7 мм) вырезали лунки, в которые вносили суспензию ассоциаций в количестве 0,5 мл (титр 10^7 кл/мл), и оставляли на 72 ч при температуре 28 °С. Контролем служили лунки со стерильной водой. Об антифунгальной активности судили по диаметру зоны подавления роста грибов.

Биосовместимость штаммов ассоциации изучали методом перпендикулярных штрихов [15].

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета программ «STATISTICA 10.0». В таблице и рисунке представлены средние значения (M) и их стандартные отклонения (±SD) при $p < 0,5$.

Результаты исследования и их обсуждение

Выделение бактерий проводили из образцов почв (более 70 образцов), собранных в Жамбылской области Казахстана. В общей сложности было выделено 54 азотфиксирующих, 25 фосфатмобилизующих и 106 культур целлюлолитических бактерий.

Азотфиксирующие бактерии были выделены на среде Эшби. С целью выявления активных штаммов был проведен первичный скрининг культур. Критерием отбора служила величина и размеры колоний при росте на безазотистой среде. При этом исходили из того, что бактерии, способные к активному росту и накоплению биомассы на безазотистых средах, образуют колонии большого диаметра, что свидетельствует об их повышенной способности к фиксации молекулярного азота атмосферы. В результате первичного скрининга для дальнейшей работы было отобрано 10 культур азотфиксирующих бактерий. Для отбора высокоактивных штаммов изучили их нитрогеназную активность и способность к накоплению биомассы. В результате проведенной работы было отобрано два штамма Az-22 и Az-24, характеризующихся повышенным накоплением биомассы и высокой нитрогеназной активностью.

Выделение и первичный скрининг активных штаммов фосфатмобилизующих бактерий проводили на среде Муромцева с нерастворимым фосфатом, придававшего питательной среде равномерную мутность. Отбор культур проводили исходя их того, что активные штаммы образуют большие зоны просветления среды (зоны гало). Исследование способности штаммов к мобилизации фосфатов позволило отобрать два наиболее активных штамма бактерий Ф-11 и Ф-12.

Выделение целлюлолитических бактерий из почвенных образцов проводили на среде Гетчинсона. Первичный отбор активных культур проводили на агаризованной среде Гетчинсона, содержащей в качестве единственного источника углерода и энергии пшеничную солому. Отбор культур проводили исходя из того, что чем больше диаметр колоний, тем эффективнее культура бактерий утилизирует целлюлозу. В результате первичного скрининга было отобрано 20 бактерий. Для отбора высокоактивных штаммов бактерий были проведены опыты по изучению их целлюлазной активности. В результате исследований было отобрано два штамма целлюлолитических бактерий С-21(8) и С-82 с высокой активностью целлюлаз.

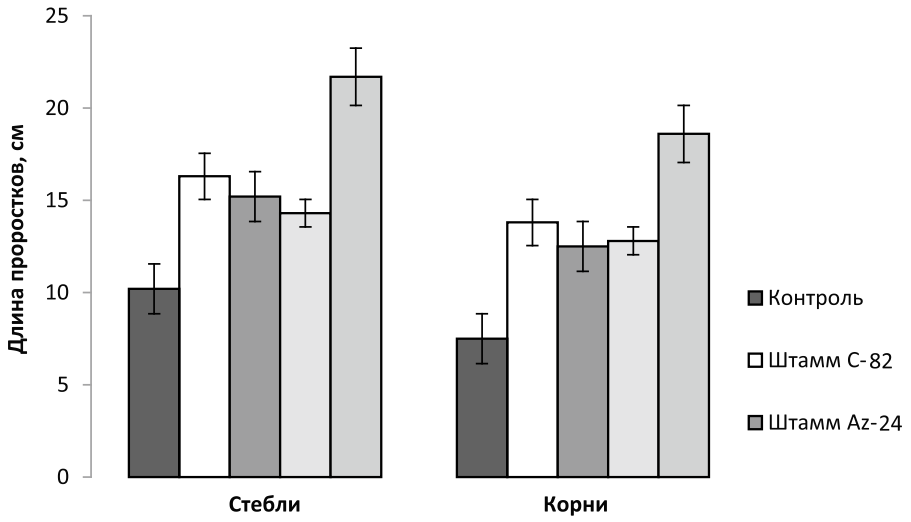
Одним из основных факторов, которые необходимо учитывать при создании ассоциации, является биосовместимость штаммов. Изучение биосовместимости штаммов бактерий показало, что штаммы Az-22, Az-24, С-21(8), С-82, Ф-11 и Ф-12 биосовместимы, то есть не подавляют рост и развитие друг друга. На основе этих штаммов была создана ассоциация агрономически ценных микроорганизмов, включающая штаммы целлюлолитических С-82, азотфиксирующих Az-24 и фосфатмобилизующих бактерий Ф-12 (в соотношении 1:1:1).

В лабораторных условиях изучили влияние отдельных штаммов бактерий и созданной ассоциации на развитие растений сахарной свеклы. Полученные данные представлены на рисунке.

Установлено, что отдельные штаммы и ассоциация обладают ростостимулирующей способностью, но ростостимуляция растений в варианте с ассоциацией была выше. Так, инокуляция семян штаммами бактерий увеличила длину стебля в 1,4–1,5 раза, корней – в 1,6–1,8 раза по сравнению с контролем. В то время как при инокуляции семян ассоциацией длина стебля увеличилась в 2,0 раза, корней – 2,5 раза по сравнению с контролем.

Исследование антифунгальной активности штаммов и ассоциации по отношению к основным фитопатогенным грибам, вызывающим корневые гнили, показало, что не все штаммы ассоциации характеризовались антифунгальной активностью (таблица).

Установлено, что только штамм С-82 проявлял антифунгальную активность, остальные штаммы ею не обладали. Также показано, что ассоциация обладала более высокой антифунгальной активностью против фитопатогенных грибов. Так, антифунгальная активность ассоциации в отношении грибов *F. oxysporum* составляла 29,9 мм, *F. solani* – 39,7 мм и *A. alternata* – 48,5 мм, в то время как у штамма С-82 диаметр зоны подавления фитопатогенных грибов *F. oxysporum* составлял 28,3 мм, *F. solani* – 36,2 мм и *A. alternata* – 45,6 мм (таблица).



Ростостимуляция проростков сахарной свеклы при инокуляции семян отдельными штаммами и созданной ассоциацией

Антифунгальная активность штаммов и ассоциации в отношении фитопатогенных грибов, возбудителей корневых гнилей сахарной свеклы ($M \pm SEM$)

Штаммы бактерий	Диаметр зоны подавления роста грибов, мм		
	Alternaria alternata	*Fusarium solani*	*Fusarium oxysporum*
Az-24	0	0	0
С-82	45,6 ± 0,5	36,2 ± 0,2	28,3 ± 0,1
Ф-12	0	0	0
Ассоциация	48,5 ± 0,7	39,7 ± 0,3	29,9 ± 0,3
Контроль	0	0	0

Заключение

Таким образом, из почв Казахстана были выделены новые штаммы агрономически ценных микроорганизмов: азотфиксирующие, фосфатмобилизующие и целлюлолитические бактерии. Изучена их биологическая активность и отобраны штаммы с высокой активностью. Для создания эффективной ассоциации проведено исследование биосовместимости штаммов и подобраны штаммы с отсутствием антагонизма по отношению друг к другу. На основе этих штаммов создана ассоциация агрономически ценных микроорганизмов для сельского хозяйства. Изучение ее ростостимулирующих свойств выявило высокое положительное влияние ассоциации на рост и развитие растений сахарной свеклы. Также проведенные исследования показали, что ассоциация является перспективным агентом для биоконтроля фитопатогенных грибов, так как обладает высокой антифунгальной активностью в отношении основных фитопатогенных грибов родов *Fusarium* и *Alternaria*, вызывающих корневые гнили сахарной свеклы.

В дальнейшем практическое применение созданной ассоциации в сельском хозяйстве позволит снизить заболеваемость растений за счет биоконтроля корневых гнилей в почве и стимулировать рост и развитие растений сахарной свеклы, что приведет к повышению ее урожайности. Также, использование ассоциации будет способствовать уменьшению химической нагрузки на почвы и позволит получить экологически чистую продукцию растениеводства.

Список литературы

1. Solomon S., Quirk R.G., Shukla S.K. Green management for sustainable sugar industry. Sugar Tech. 2019. Vol. 21. No 2. P. 183–185. DOI: 10.1007/s12355-019-00711-2.

2. Обзор сахарной отрасли государств – членов Евразийского экономического союза за 2012–2016 гг. М.: Департамент ЕАЭС, 2017. 110 с.

3. Мауи А.А., Исмухамбетов Ж.Д. Комплексная система защиты посевов сахарной свеклы от вредителей, болезней и сорняков для условий Казахстана. Алматы: Бастау, 2012. 48 с.

4. Селиванова Г.А. Болезни сахарной свеклы при интенсификации технологии выращивания культуры // Земледелие. 2013. № 4. С. 31–37.

5. Webb K.M., Brenner T., Jacobsen B.J., Temperature effects on the interactions of sugar beet with Fusarium yellows caused by Fusarium oxysporum f. sp. betae. Canadian Journal of Plant Pathology. 2015. Vol. 37. No 3. P. 353–362. DOI: 10.1080/07060661.2015.1071283.

6. Jacoby R., Peukertt M., Succurro A., Koprivova A., Kopriva S. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition – current knowledge and future directions. Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. P. 1617–1638. DOI: 10.3389/fpls.2017.01617.

7. Smirnova I.E., Sadanov A.K. Cellulolytic bacteria and association of effective microorganisms for biocontrol of root rot infections in sugar beet (Beta vulgaris L.). Agricultural Biology. 2019. Vol. 54. No 5. P. 1041–1052. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.

8. Smirnova I., Sadanov A. Application of agriculturally important microorganisms for biocontrol of root rot infection of sugar beet. Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2019. Vol. 52. No 7-8. P. 698–713. DOI: 10.1080/03235408.2019.1588195.

9. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического анализа. М.: Стандаринформ, 2008. 142 с.

10. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д.: Южный федеральный университет, 2016. 355 с.

11. Nishihara A., Matsuura K., Tank M., McGlynn S.E., Thiel V., Haruta S. Nitrogenase activity in thermophilic chemolithoautotrophic bacteria in the phylum aquificae isolated under nitrogen-fixing conditions from nakabusa hot springs. Microbes and Environments. 2018. Vol. 33. No 4. P. 394–401. DOI: 10.1264/jsme2.ME18041.

12. Егоршина А.А., Хайруллин Р.М., Лукьянцев М.А., Курамшина З.М., Смирнова Ю.В. Фосфатмобилизующая активность эндофитных штаммов Bacillus subtilis и их влияние на степень микоризации корней пшеницы // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2011. Т. 4. № 2. С. 172–182.

13. Зубов Д.В., Толченов А.А. Экспресс-методика контроля активности ферментного комплекса // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Т. 1. № 2 (64). С. 389–392.

14. Balouiri M., Sadiki M., Ibnsouda S. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. Journal of Pharmaceutical Analysis. 2016. Vol. 6. No 2. P. 71–79. DOI: 10.1016/j. jpha.2015.11.005.

15. Иркитова А.Н., Яценко Е.С. Оптимизация метода определения антагонистической активности пробиотических бактерий // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК. 2017. № 5 (19). С. 113–117.

УДК 612.017:661.718.5:612.118.24

РЕАКЦИЯ МАКРОФАГОВ И ТУЧНЫХ КЛЕТОК ЛЁГКИХ КРЫС НА ПАРЕНТЕРАЛЬНОЕ ВВЕДЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Сухорукова Е.Г., Юкина Г.Ю., Половников И.В., Крыжановская Е.А.

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, e-mail: len48@inbox.ru

В настоящее время диоксид кремния получил широкое распространение в самых различных областях медицины: диагностике заболеваний, терапии, фармацевтике. Диоксид кремния рассматривается как многообещающий биосовместимый и биодеградируемый материал. Однако для безопасного использования в биомедицинских целях уникальных возможностей наноструктур кремния, а также для нивелирования их токсических эффектов, необходимо детальное изучение взаимодействия этих наночастиц с клетками и тканями *in vivo*. Целью настоящей работы явилось изучение реакции макрофагов и тучных клеток в респираторном отделе лёгкого крыс в ответ на однократное парентеральное введение наночастиц диоксида кремния (НЧДК) сферической формы, размером 12 нм. На самцах крыс стока Wistar (n = 30) на 21 сутки, через 2 и 4 месяца после введения НЧДК гистологическим и иммуногистохимическим методами показано развитие хронического асептического воспаления в интерстиции легкого на всех сроках эксперимента, представленное макрофагальной инфильтрацией без привлечения клеток лимфоидного ряда, нейтрофилов и эозинофилов. НЧДК проходят через аэрогематический барьер и приводят к увеличению пула альвеолярных макрофагов. Тучные клетки не реагируют на парентеральное введение НЧДК, не мигрируют в межальвеолярные перегородки, их число перибронхиально и перивазально не увеличивается. На протяжении 4 месяцев эксперимента не наблюдалось соединительнотканного ремоделирования в интерстиции респираторного отдела и морфологических признаков, характерных для силикоза лёгких.

Ключевые слова: респираторный отдел легких крыс, наночастицы диоксида кремния, макрофаги, тучные клетки, сурфактант

MACROPHAGES AND MAST CELLS RESPONSE IN RATS LUNGS AFTER PARENTERAL ADMINISTRATION OF THE SILICON DIOXIDE NANOPARTICLES

Sukhorukova E.G., Yukina G.Yu., Polovnikov I.V., Kryzhanovskaya E.A.

First Pavlov State Medical University of St.Petersburg, St. Petersburg, e-mail: len48@inbox.ru

Currently, silicon dioxide is widely used in various fields of medicine: diagnostics, therapy and pharmaceutics. Silicon dioxide is considered as a promising biocompatible and biodegradable material. However, for it safe use, a detailed study of its possible toxic effects, the processes of nanoparticles interaction with cells and tissues *in vivo* is required. The aim of the presented research was the assessment of macrophages and mast cells response in rats lungs after single parenteral administration of the spherical silicon dioxide nanoparticles (SDN). Experiments were conducted on male Wistar rats (n = 30). Spherical nanoparticles (12 nm) were injected parenterally once. The follow-up was 21 days, 2 and 4 months. Histology and immunohistochemistry revealed chronic aseptic inflammation development in the lung interstitium, represented by macrophage infiltration without involvement of lymphoid cells, neutrophils and eosinophils. SDN passed through the airborne barrier, which led to an increase of the alveolar macrophages amount. After 4 months, there were no. signs of connective tissue remodeling in interstitium or lung silicosis.

Keywords: rat lungs, silicon dioxide nanoparticles, macrophages, mast cells, surfactant

Исследование влияния объектов малых размеров (наночастиц) на различные органы и ткани животных является одним из приоритетных направлений развития современной медицинской науки. В настоящее время наибольшей популярностью пользуются наночастицы таких веществ, как медь, золото, диоксид титана, углерод и диоксид кремния. При этом диоксид кремния относится к соединениям, получившим широкое распространение в самых различных областях медицины: диагностике заболеваний, терапии, фармацевтике и других. Во многом такое обширное использование определяется возможностью задания специфических свойств путем модификации структурного построения этого соединения. Исключительные свойства разветвленной поверхности соединений диоксида кремния создают благоприятные условия для взаимодействия с различными биологическими средами. Благодаря этому, данное вещество может выступать как многообещающий биосовместимый и биодеградируемый материал, который способен проникать через гистогематические барьеры организма и может использоваться для целенаправленного транспорта различных лекарственных препаратов и диагностических средств [1]. Однако эти же свойства наночастиц диоксида кремния предполагают и потенциальные риски для организма. Так, в ряде исследований показано, что наночастицы диоксида кремния оказывают токсическое действие на некоторые клетки млекопитающих [2]. Данное обстоятельство указывает на то, что

для гарантии безопасного использования в биомедицинских целях уникальных возможностей наночастиц диоксида кремния, а также для нивелирования их токсических эффектов, необходимо продолжение детального изучения взаимодействия этих наночастиц с клетками и тканями *in vivo*.

В ряде исследований показано выраженное сродство диоксида кремния к тканям респираторного отдела лёгких и при парентеральном, и при ингаляционном введении, что обусловлено морфофункциональными особенностями легочной ткани [3]. Известно, что размеры частиц являются одним из определяющих факторов в степени проявления токсических свойств наночастиц с последующей активацией макрофагов и развитием пневмофиброгенеза [4]. По этим причинам важным моментом остаётся определение схожести реакции тканей лёгкого на парентеральное введение наночастиц диоксида кремния с лёгочным силикозом и поиск оптимального размера частиц, при котором сохраняется «сродство» к лёгочной ткани, но степень токсического воздействия – минимальна. Наш научный интерес определился изучением общих вопросов неспецифических механизмов, связанных с естественными морфофункциональными особенностями лёгкого в ответ на парентеральное введение диоксида кремния и особенностей реактивных изменений, характеризующих степень безопасности для органа-мишени и организма в целом.

Целью настоящей работы явилось изучение реакции макрофагов и тучных клеток респираторного отдела лёгкого крыс в ответ на однократное парентеральное введение наночастиц диоксида кремния (НЧДК) сферической формы размером 12 нм.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на 30 соматически здоровых самцах крыс стока Wistar, массой 220–250 г (ФГУП «ПЛЖ «Рапполово», Россия), содержавшихся в стандартных условиях вивария конвенциональной категории.

Животные были разделены на 2 группы: 1) контроль (n = 15) – с введением 1 мл физиологического раствора (К); 2) экспериментальная группа (n = 15) – с введением 1 мл суспензии НЧДК в физиологическом растворе (Э). Суспензия НЧДК (кремнезем, Аэросил 200, SiO_2, частицы сферической формы с размером 12 нм) вводилась однократно в хвостовую вену в объеме 1 мл при концентрации кремнезема 2 мг/мл. Манипуляции с животными проводили в условиях анестезии раствором золетила (6 мг/кг), вводимого внутрибрюшинно. При экспериментальных исследованиях руководствовались «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», принципами Европейской конвенции (г. Страсбург, 1986 г.) и Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации о гуманном обращении с животными, 1996 г.

Выведение из эксперимента и забор материала для исследования осуществляли на 21 сутки, через 2 и 4 месяца после введения НЧДК, по 5 животных в группе. Для гистологического анализа лёгкое в растянутом состоянии фиксировали в 10% нейтральном формалине на фосфатном буфере (pH 7,4) в течение суток, затем получали фронтальный срез доли левого лёгкого, с обязательным присутствием долевого и сегментарных бронхов, лёгочных сосудов и альвеолярной ткани, покрытой висцеральной плеврой. Парафиновые блоки изготавливали по стандартной гистологической методике. Для получения сопоставимых результатов от всех животных образцы обрабатывали параллельно и в одинаковых условиях. Срезы толщиной 5 мкм готовили с помощью микротома Accu-Cut SRT 200 (Sakura, Япония) и окрашивали гематоксилином и эозином. Визуализацию тучных клеток (ТК) проводили окрашиванием толуидиновым синим (Биовитрум, Россия). Для иммуногистохимического выявления макрофагов использовали первичные моноклональные мышиные антитела Anti-CD68 antibody (ab 31630) (Abcam, Великобритания). Для выявления связавшихся первичных антител использовали мультимерную безбиотиновую систему детекции Reveal-Biotin-Free Polyvalent DAB (Spring Bioscience Corporation,USA). Препараты докрашивали гематоксилином Майера (Биовитрум, Россия).

Подсчёт альвеолярных, интерстициальных макрофагов (аМФ и иМФ соответственно) и ТК производили на цифровых изображениях срезов респираторного отдела лёгкого, полученных при помощи светового микроскопа Leica DM750 (Leica, Германия) и цифровой фотокамеры ICC50 (Leica, Германия), с помощью прикладной компьютерной программы анализа изображений ImageScope Color (версия M). Для каждого животного на срезе подсчитывали число CD68+ клеток в интерстиции лёгкого и в альвеолах и ТК, располагающихся преимущественно периваскулярно и перибронхиально, в 20 полях зрения, площадью 0,33×0,25 мм каждое поле, при объективе x10, окуляре x40.

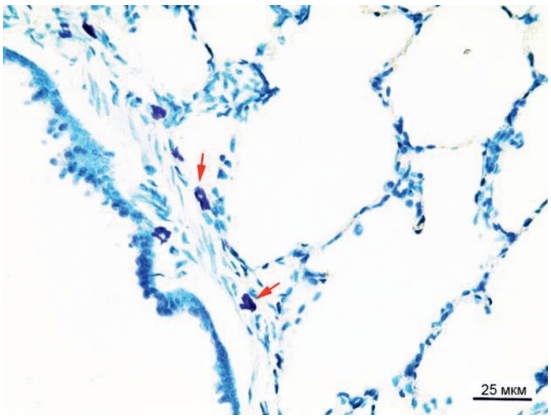
Статистическую обработку полученных количественных данных проводили с ис-

пользованием стандартного пакета программ (Statistica 7.0 Stat.Soft for Windows). Вычисляли среднее арифметическое значение и его стандартную ошибку (M ± m), оценку значимости различий показателей проводили с применением критерия Вилкоксона. Значимость различий определяли при $p < 0,05$.

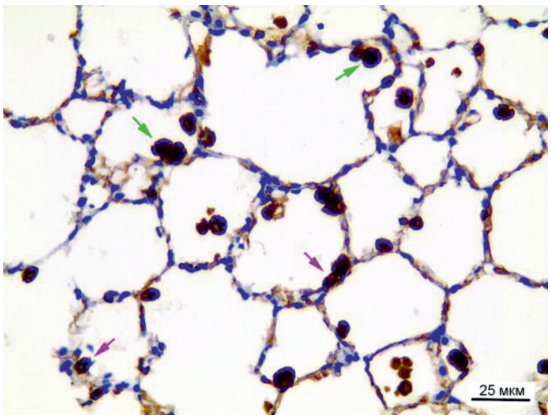
Результаты исследования и их обсуждение

У животных во всех контрольных группах макроскопически лёгкие воздушные, розового цвета, мягко-эластичные. Микроскопически архитектоника ткани сохранена, стенка бронхов не утолщена, эпителий бронхов без особенностей, в просвете бронхов содержимого нет, плевра не утолщена. Бронхоассоциированная лимфоидная ткань без особенностей. Отмечается умеренное полнокровие капилляров интерстиция. В интерстиции респираторного отдела содержится полиморфный клеточный пул, включающий в основном компоненты макрофагального (иМФ), лимфоидного ряда, с присутствием эозинофильных лейкоцитов. ТК выявляются перибронхиально вокруг долевого и сегментарных бронхов, и около крупных сосудов (рисунок, а), в интерстиции респираторного отдела встречаются единичные ТК. В альвеолах отмечаются единичные аМФ (рисунок, б).

У экспериментальных животных на всех сроках эксперимента макроскопически лёгкие соответствуют контрольным. Микроскопически архитектоника бронхов и респираторного отдела сохранена. На 21 сутки эксперимента визуально межальвеолярные перегородки не утолщены, но число иМФ увеличивается до 180 % и составляет 9 ± 0,8 в поле зрения, что значимо отличается от контрольных значений. В просвете альвеол содержимого нет, но наблюдается незначимое увеличение числа аМФ до 8 ± 0,7 клеток в поле зрения. Число ТК не изменяется по сравнению с контрольными значениями (таблица).



а)



б)

Тучные клетки (а) и макрофаги (б) в респираторном отделе лёгкого животного на 4 месяце эксперимента. Красная стрелка – тучная клетка, зеленая стрелка – альвеолярный макрофаг, розовая стрелка – интерстициальный макрофаг. Окраска: толуидиновым синим (а), иммуногистохимическая реакция на CD68 с подкраской гематоксилином (б). Об.40, ок.10

Динамика показателей объектов морфометрии в респираторном отделе лёгкого после введения наночастиц диоксида кремния

Клетки	21 сут.		2 мес.		4 мес.	
	Контр. (физ. р-р)	НЧК	Контр. (физ .р-р)	НЧК	Контр. (физ. р-р)	НЧК
Макрофаги альвеолярные	6 ± 0,5	8 ± 0,7	7 ± 2	8 ± 1	5 ± 1	10 ± 1[a] p = 0,004942
Макрофаги интерстициальные	5 ± 1	9 ± 0,8[a] p = 0,001264	7 ± 2	9 ± 1	4 ± 2	6 ± 0,7[a] p = 0,006777
Тучные клетки	2 ± 0,4	2 ± 0,3	4 ± 0,4	1 ± 0,2	3 ± 0,8	2 ± 0,3

Примечание. [a] – показатели статистически значимо отличаются от группы контроля при $p < 0,05$.

Через 2 месяца эксперимента визуально перегородки утолщены за счёт умеренного клеточного инфильтрата. Число иМФ и аМФ незначимо повышено по сравнению с показателями в группе К, число ТК незначимо снижается до 1 ± 0,2 клетки в поле зрения (таблица).

Через 4 месяца после введения НЧДК повышается содержание клеток в межальвеолярных перегородках, число иМФ значимо увеличивается до150 % и составляет 6 ± 0,7 клеток в поле зрения. Численность аМФ значимо повышается до 200 % и составляет 10 ± 1 клеток в поле зрения. ТК не реагируют на введение НЧДК, их число остаётся в пределах контрольных значений (таблица).

Проведенное исследование показало увеличение числа макрофагов на 21 сутки эксперимента как в интерстиции, так и в альвеолах, что свидетельствует о распространении гематогенно вводимых НЧДК размером 12 нм за пределы капилляра. Очевидно, что НЧДК пересекают как стенку капилляра, попадая в интерстиций, так и компоненты аэрогематического барьера, оказываясь в просвете альвеол. При этом наблюдаемая макрофагальная реакция свидетельствует об интернализации дисперсных нанообъектов в макрофаги. Логично предположить, что интернализация нанообъектов происходит и в эндотелий, и в фибробласты, и в альвеолоциты. Но только макрофаги, являясь важнейшим звеном в системе местного иммунитета и обеспечивая неспецифический и специфический иммунные ответы, остро реагируют на интернализацию НЧДК, что объясняется необходимостью элиминации инородного материала. Установлено, что инородные тела не остаются в тканях постоянно. В физиологической среде, после распределения НЧДК в тканях, происходит их распад на сроках от 2 недель до 3 месяцев, что зависит от размеров, степени пористости частиц и др. факторов [5].

Механизмы клеточных изменений на молекулярном уровне в ответ на интернализацию НЧДК представлены в современных работах на клеточных культурах. Так, показано, что при гидролизе ортокремниевой кислоты образующиеся ионы H^+ и H_3SiO_4 закисляют внутриклеточную среду, что стимулирует синтез белка криопирина (NLRP3), который, в свою очередь, запускает воспалительную реакцию [6]. Ключевыми медиаторами воспаления при этом являются интерлейкины IL-1β, IL-6, провоспалительный цитокин CXCL8 и фактор транскрипции, контролирующий экспрессию генов иммунного ответа и апоптоза [7]. Появились данные, что развитию/поддержанию реактивного воспаления в ответ на внутриклеточную интернализацию НЧДК способствует повреждение мембранных структур клетки, развивающееся по механизму окислительного стресса [8].

В ходе настоящего исследования *in vivo* показано увеличение и поддержание численности макрофагального пула в легочной ткани на протяжении 4 месяцев эксперимента. Полученные данные свидетельствуют о хроническом асептическом воспалении, представленном макрофагальной инфильтрацией, вызванной интернализацией НЧДК в макрофаги, биодеградацией НЧДК внутри макрофагов, что, в свою очередь, вероятно, приводит к синтезу криопирина – триггера воспаления.

Согласно литературным данным число иМФ приблизительно соответствует числу аМФ [9]. Результаты настоящего исследования соответствуют этим данным и на всех сроках эксперимента наблюдаются приблизительно одинаковые контрольные значения числа иМФ и аМФ. В группах с внутривенным введением НЧДК на 21 сутки и 2 месяца эксперимента числа иМФ и аМФ возрастают одновременно и также приблизительно равны. Однако через 4 месяца в экспериментальной группе число аМФ значимо выше контрольных значений и превосходит число иМФ. В работе Мильто [10] показано, что после парентерального введения наноразмерных частиц магнетита в лёгких у крыс альвеолярные иммунопозитивные макрофаги доминируют над интерстициальными. Однако полученные данные автор не объясняет. Возможно, активация аМФ на данном сроке эксперимента происходит не без участия компонентов сурфактанта, один из белков которого – сурфактантный белок D (SP-D) – регулирует деятельность аМФ [11].

Под действием провоспалительных и антипатогенных факторов в макрофагах активируется индуцибельная NO-синтаза (iNOS), способствующая образованию окиси азота (NO) и длительному поддержанию его высокой концентрации во внеклеточной среде. При этом NO в высокой концентрации приводит к нитрозилированию сурфактантного белка SP-D и изменению его роли с ингибитора активности аМФ на роль активатора воспалительной реакции [12]. В данном случае наличие хронического асептического воспаления, сохраняющегося на протяжении всего эксперимента (прежде всего в интерстиции респираторного отдела), очевидно, приводит к повышенной продукции NO, что, в свою очередь, ведет к нитрозилированию белка SP-D, повышающего функциональную активность макро-

фагов в альвеолах, а они, синтезируя провоспалительные цитокины, продолжают привлекать в альвеолы все новые макрофаги. Однако остаётся неизвестным, было ли повышение пула аМФ в период между 2 и 4 месяцами эксперимента.

В ходе настоящего исследования показано, что ТК не реагируют на парентеральное введение НЧДК сферической формы размером 12 нм, не мигрируют в межальвеолярные перегородки и их число перибронхиально и перивазально не увеличивается, что является положительным признаком. Хорошо известно, что именно макрофаги первыми реагируют на экзогенный фактор (в данном случае НЧДК) и становятся инициаторами клеточных реакций, в результате которых происходит перестройка соединительной ткани [13]. Цитокины, прежде всего ИЛ-1, секретируемые макрофагами, провоцируют миграцию ТК и их IgE-независимую дегрануляцию. Показано, что триптаза и химаза гранул ТК стимулируют секреторную активность фибробластов и их пролиферацию [14]. Таким образом, секреторная активность макрофагов и ТК приводит к ремоделированию соединительной ткани в органах. В настоящей работе обнаружено, что ТК нечувствительны к НЧДК, не вовлекаются в межклеточные взаимодействия, и на протяжении 4 месяцев эксперимента не наблюдалось соединительнотканного ремоделирования в интерстиции респираторного отдела и морфологических признаков, характерных для силикоза лёгких. Кроме того, следует отметить, что в реакцию местного иммунитета не вовлекаются и клетки лимфоидного ряда, нейтрофилы и эозинофилы, что также не способствует усилению воспалительного процесса в тканях легких.

По итогам проведенного экспериментального исследования установлено, что внутривенное введение суспензии НЧДК (0,1 мг/кг) сферической формы размером 12 нм приводит к развитию хронического асептического воспаления, проявляющегося в увеличении пула иМФ в межальвеолярных перегородках и аМФ в просвете альвеол на протяжении 4 месяцев эксперимента. Полученные результаты указывают на необходимость дальнейшего изучения влияния НЧДК на популяции макрофагов и тучных клеток в респираторном отделе легких на более длительных сроках.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № госрегистрации АААА-А18-18102590054-0.

Список литературы

1. Подколодная О.А., Игнатьева Е.В., Подколодный Н.Л., Колчанов Н.А. Пути поступления наночастиц в организм млекопитающих, их биосовместимость и клеточные эффекты // Успехи современной биологии. 2012. Т. 132. № 1. С. 3–15.

2. Ivanov S., Zhuravsky S., Yukina G., Tomson V., Korolev D., Galagudza M. In vivo toxicity of intravenously administered silica and silicon nanoparticles. Materials. 2012. vol. 5. no. 10. P. 1873–1889.

3. Braakhuis H.M., Park M.V., Gosens I., De Jong W.H., Cassee F.R. Physicochemical characteristics of nanomaterials that affect pulmonary inflammation. Particle and Fibre Toxicology. 2014. vol. 11. P. 18.

4. Leclerc L., Rima W., Boudard D., Pourchez J., Forest V., Bin V., Mowat P., Perriat P., Tillement O., Grosseau P., Bernache-Assollant D., Cottier M. Size of submicrometric and nanometric particles affect cellular uptake and biological activity of macrophages in vitro. Inhalation Toxicology. 2012. vol. 24. no. 9. P. 580–588.

5. Croissant J.G., Brinker C.J. Biodegradable silica-based nanoparticles: dissolution kinetics and selective bond cleavage. Enzymes. 2018. vol. 43. P. 181–214.

6. Yang M., Jing L., Wang J., Yu Y., Cao L., Zhang L., Zhou X., Sun Z. Macrophages participate in local and systemic inflammation induced by amorphous silica nanoparticles through intratracheal instillation. Int. J. Nanomedicine. 2016. vol. 11. P. 6217–6228.

7. Rabolli V., Lison D., Huaux F. The complex cascade of cellular events governing inflammasome activation and IL-1β processing in response to inhaled particles. Part Fibre Toxicol. 2016. vol. 13. no. 1. P. 40.

8. Özgür M.E., Ulu A., Özcan İ., Balcioglu S., Ateş B., Köytepe S. Investigation of toxic effects of amorphous SiO2 nanoparticles on motility and oxidative stress markers in rainbow trout sperm cells. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2019. vol. 26. no. 15. P. 15641–15652.

9. Lambrecht B.N. Alveolar macrophage in the driver's seat. Immunity. 2006. vol. 24. no. 4. P. 366–368.

10. Мильто И.В. Макрофаги печени, лёгких, почек и селезёнки у крыс после внутривенного введения модифицированных наноразмерных частиц магнетита // Морфология. 2014. Т. 146. № 5. С. 40–45.

11. LeVine A.M., Whitsett J.A., Gwozdz J.A., Richardson T.R., Fisher J.H., Burhans M.S., Korfhagen T.R. Distinct effects of surfactant protein A or D deficiency during bacterial infection on the lung. J. Immunol. 2000. vol. 165. no. 7. P. 3934–3940.

12. Guo Z., Shao L., Du Q., Park K.S., Geller D.A. Identification of classic cytokine-induced enhancer upstream in the human iNOS promoter. The Faseb J. 2007. vol. 21. no. 2. P.535–542.

13. Shkurupiy V.A., Kim L.B., Potapova O.V., Cherdantseva L.A., Putyatina A.N., Nikonova I.K. Fibrogenesis in granulomas and lung interstitium in tuberculous inflammation in mice. Bull. Exp. Biol. Med. 2014. vol. 156. no. 6. P. 731–735.

14. Kosanovic D., Dahal B.K., Wygrecka M. Reiss I., Günther A., Ghofrani H.A., Weissmann N., Grimminger F., Seeger W., Schermuly R.T., Banat G.A.. Mast cell chymase: an indispensable instrument in the pathological symphony of idiopathic pulmonary fibrosis? Histol. Histopathol. 2013. vol. 28. no. 6. P. 691–699.

УДК 582.998.2:615.451(575.2)

СЫРЬЕВЫЕ ЗАПАСЫ ТРАВЫ ПОЛЫНИ ЗЕЛЕНОЙ (*ARTEMISIA VIRIDIS* WILLD.) В НЕКОТОРЫХ ОБЛАСТЯХ КЫРГЫЗСТАНА

[1]Табылдиева Ч.Т., [1]Чолпонбаев К.С., [1]Дооталиева С.Ч., [1]Исмаилов М.В., [2]Рогова Н.А., [2]Шалпыков К.Т.

[1]Кыргызская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева, Бишкек, e-mail: tabyldieva-cholpon@mail.ru;
[2]Институт химии и фитотехнологий НАН КР, Бишкек, e-mail: alhor6464@mail.ru

В статье дана краткая ботаническая характеристика и оценка использования полыни зеленой (*Artemisia viridis* Willd.). Приводится описание растительных сообществ с полынью зеленой в пяти районах произрастания в Суусамырской долине, в Ат-Башинском районе и в Сонкульской котловине Кыргызстана. На 11 обследованных участках отмечено проективное покрытие данного вида, подсчитано количество генеративных побегов на 1 м², определена урожайность надземной массы с 1 м² и с 1 га. Определена территория, на которой возможна заготовка лекарственного сырья (надземной массы) полыни зеленой, установлены биологический и эксплуатационный запасы. Потребность в лекарственном сырье постоянно растет, но перспективы использования дикорастущих видов достаточно ограничены. Перевыпас скота, хищническая заготовка лекарственных растений значительно сокращают запасы сырья и сборы его в природных местах произрастания. Необходимо более рационально использовать природные запасы лекарственного растительного сырья и заботиться об их сохранении и возобновлении. В зависимости от природно-климатических условий, ежегодно может развиваться различное количество генеративных побегов и, следовательно, изменяться урожайность сырья полыни зеленой. Это может привести к изменению биологического и эксплуатационного запасов.

Ключевые слова: полынь зеленая, лекарственные травы, сырьевые запасы, генеративные побеги, заготовка

THE RAW STOCKS OF HERB OF SAGEBRUSH GREEN (*ARTEMISIA VIRIDIS* WILLD.) IN SOME REGIONS OF KYRGYZSTAN

[1]Tabyldieva Ch.T., [1]Cholponbaev K.S., [1]Dootalieva S.Ch., [1]Ismailov M.V., [2]Rogova N.A., [2]Shalpykov K.T.

[1]Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev, Bishkek, e-mail: tabyldieva-cholpon@mail.ru;
[2]Institute of Chemistry and Phytotechnology, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: alhor6464@mail.ru

This work gives a brief botanical facies and use of sagebrush green (*Artemisia viridis* Willd.). Description of plant communities is being held in which a sagebrush green (*Artemisia viridis* Willd.) in 5 habitats in the Suusamyr Valley, in the At – Bashi District and in the Sonkul Basin of Kyrgyzstan. The projective cover of this species was noted in 11 surveyed plots, the number of generative shoots per 1 m^2 was calculated, the productivity of the above-ground mass from 1 m^2 and 1 ha was determined. The territory on which the preparation of medicinal raw materials (above – ground mass) of sagebrush green is defined, biological and operational stocks have been established. The need for medicinal raw materials is constantly growing, but the prospects for the use of wilding species are enough limited. Depending on the nature – climatic conditions, the various quantities of generative shoots annually may evolve, and therefore, they yield of raw materials of sagebrush green can change. This could lead to changes in biological and operational reserves.

Keywords: sagebrush green, medicinal herbs, raw materials, generative shoots, preparation

Ресурсоведение лекарственных растений – большой и достаточно важный раздел научно-практической деятельности различных специалистов. Ресурсоведческие исследования осуществляются во всем мире, но их направленность и характер определенным образом различаются в разных странах. Эти различия связаны с особенностями экономики страны, демографическими характеристиками, богатством растительных ресурсов, доступностью, освоенностью и величиной территории [1]. Потребность в лекарственном сырье постоянно растет, но перспективы использования дикорастущих видов достаточно ограничены. Перевыпас скота, хищническая заготовка лекарственных растений значительно сокращают запасы сырья и сборы его в природных местах произрастания. Необходимо более рационально использовать природные запасы лекарственного растительного сырья и заботиться об их сохранении и возобновлении. В Кыргызстане насчитывается около 600 видов полезных растений дикорастущей флоры, из них около 200 применяется в народной медицине и 62 вида включены в Государственную фармакопею. Одним из малоизученных растений, используемых в народной медицине, является полынь зеленая (мамыр). Полынь зеленая (*Artemisia viridis* Willd.) – многолетнее травянистое растение, образующее рыхлые дерновины.

Стебли высотой до 56 см, многочисленные, при основании деревянистые. Кроме цветущих побегов имеются укороченные густолиственные нецветущие побеги высотой до 3 см. Листья морщинистые, с точечными железками 1,5–5 см длины, 1–2,5 см ширины, дважды перисто-рассечённые. Корзинки многоцветковые, расположены в кистевидном или колосовидном соцветии. Цветки диска красно-бурые. Произрастает в высокогорных степях по всему Кыргызстану [2, 3].

В надземной части полыни зеленой обнаружены: эфирное масло, фенолы, кетоны, флавоноиды, алкалоиды и кумарины. Трава полыни зеленой (мамыр) используется в народной медицине Кыргызстана при нарушении кислотности желудочного сока, при запорах, для полоскания горла и улучшения аппетита, как отхаркивающее средство, а также при язвенных болезнях желудка, заболеваниях почек, печени и желчных путей [4, 5].

Трава полыни зеленой (*Artemisia viridis* Willd.) широко используется в народной медицине Кыргызстана. Сведений о глубоком изучении ее свойств в литературных источниках пока не найдено. На данный момент также нет данных о природных запасах полыни зеленой в Кыргызстане. В настоящее время нами проводятся исследования лекарственного сырья полыни зеленой и разработка лекарственного препарата на ее основе. В связи с этим определение запасов лекарственного сырья данного вида является актуальным.

Материалы и методы исследования

В июле 2019 г. нами проведено предварительное определение запасов лекарственного сырья (надземной массы) полыни зеленой в некоторых районах Чуйской (Суусамырская долина) и Нарынской (Ат-Башинский район, Сонкульская котловина) областей Кыргызстана. За основу определения запасов сырья были положены методики ресурсных исследований М.К. Крыловой и А.И. Шретер (1986) [6].

Работы проводились в середине июля и начале августа 2019 г. в период цветения полыни зеленой.

Результаты исследования и их обсуждение

Суусамырская долина расположена в северном Тянь-Шане между Кыргызским, Таласским, Суусамырским и Джумгальским хребтами.

Бассейн реки Кара-Суу, место Айгыр-Жал

1-й участок. Восточный склон. Высота 2288 м н.у.м. Ассоциация – злаково-разнотравная.

1 ярус – ковыль волосовидный (*Stipa capillata*), овсяница валисская (*Festuca valesiaca*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), скабиоза джунгарская (*Scabiosa songorica*), подмаренник настоящий (*Galium verum*).

2 ярус – герань холмовая (*Geranium collinum*), скабиоза джунгарская (*Scabiosa songorica*), вероника ненастоящая (Veronica spuria), василистник вонючий (*Thalictrum foetidum*), горечавка Оливье (*Gentiana olivieri*), истод гибридный (*Polygala hybrida*), тимьян зеравшанский (*Thymus seravschanicus*), полынь зеленая (*Artemisia viridis*).

Проективное покрытие всей растительностью – 90 %, полынь зеленая (розетки листьев и генеративные побеги) занимает около 30 %. На 1 м² отмечено 43 генеративных побега в фазе цветения высотой 20–40 см. Сырой вес побегов – 44 г, сухой – 21 г.

2 участок. Юго-восточный склон. Высота 2265 м н.у.м. Ассоциация гераниево-василистниковая.

1 ярус – герань холмовая (*Geranium collinum*), василистник простой (*Thalictrun simplex*), полынь эстрагон (*Artemisia dracunculus*), скабиоза джунгарская (*Scabiosa songorica*), ковыль волосовидный (*Stipa capillata*).

2 ярус – вероника ненастоящая (*Veronica spuria*), полынь зеленая (*Artemisia viridis*), яснотка белая (*Lamium album*).

3 ярус – вегетативная часть полыни зеленой (*Artemisia viridis*).

На 1 м² отмечены 15 генеративных побегов и 11 дерновин полыни зеленой диаметром 10×5 см. Средняя высота побегов 27 см. Вес свежих побегов с 1 м² – 25 г, в сухом виде – 9 г.

3 участок. Южный склон, нижняя часть. Высота 2154 м н.у.м. Ассоциация злаково-разнотравная.

1 ярус – ковыль волосовидный (*Stipa capillata*), подмаренник настоящий (*Galium verum*), полынь зеленая (*Artemisia viridis*).

2 ярус – овсяница бороздчатая (*Festuca sulcata*).

3 ярус – зизифора пахучковидная (*Ziziphora clinopodioides*), мелколепестник разнощетинный (*Erigeron heterochaeta*).

Высота побегов полыни зеленой на этом участке 45–50 см, на 1 м² в среднем 13 побегов (10–16), цветение обильное. Дерновины диаметром в среднем 15×20 см, на каждой из них по 5–7 генеративных побегов. Сырой вес побегов – 40 г/м², сухой – 14 г/м².

В местности Айгыр-Жал полынь зеленая произрастает на площади 90 га. Средняя урожайность её надземной массы в воздушно сухом весе 147 кг/га.

Биологический запас сырья – 13,2 т.

Сухая пойма реки Кара-Суу

1 участок. Высота – 2137 м н.у.м., степная зона с зарослями караганы, местами просматриваются заболоченные участки. Ассоциация караганово-разнотравная. Полынь зеленая в фазе отцветания.

1 ярус – карагана оранжевая (*Caragana aurantiaca*), полынь эстрагон (*Artemisia dracunculus*), подмаренник настоящий (*Galium verum*), линделофия столбиковая (*Lindelofia stylosa*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), ковыль волосовидный (*Stipa capillata*).

2 ярус – полынь зеленая (*Artemisia viridis*), козлобородник горный (*Tragopogon montanus*), лапчатка (*Potentilla virgata*), василистник простой (*Thalictrun simplex*), люцерна серповидная (*Medicago falcata*).

3 ярус – очанка Регеля (*Euphrasia regelii*), овсяница бороздчатая (*Festuca sulcata*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*).

На 1 м² в среднем 12 дерновин полыни зеленой диаметром 20×14 см и 8 генеративных побегов высотой 25–45 (36) см. Сырой вес травы с 1 м² – 20 г, сухой – 6 г, урожайность сухого сырья – 60 кг/га.

Полынь зеленая в данном местообитании распространена на площади 100 га (500 м×2000 м). Биологический запас сухой травы составляет 6 т.

Бассейн реки Западный Каракол, район слияния рек Западный Каракол и Кокомерен

1 участок. Юго-западный каменистый склон. Высота над уровнем моря 2113 м. Ассоциация – эстрагоново-разнотравная.

1 ярус – кустарники: жимолость узкоцветковая (*Lonicera stenantha*), кизильник черноплодный (*Cotoneaster melanocarpa*), шиповник собачий (*Rosa canina*).

2 ярус – полынь эстрагон (*Artemisia dracunculus*), василистник малый (*Thalictrum minus*), герань холмовая (*Geranium collinum*), полынь зеленая (*Artemisia viridis*).

3 ярус – очанка Регеля (*Euphrasia regelii*), истод гибридный (*Polygala hybrida*), люцерна серповидная (*Medicago falcata*), лапчатка Средней Азии (*Potentilla asiae-mediae*).

Высота генеративных побегов полыни зеленой – 50–60 см. Проективное покрытие дернинами 40%, диаметр их 10×30 (13) см, урожай побегов в сыром виде – 50 г/м², в сухом – 16 г/ м².

2 участок. Западный закустаренный склон. Высота над уровнем моря 2128 м. Ассоциация – эстрагоново-разнотравная. На 1 м² от 13 до 25 генеративных побегов высотой в среднем 40 см. Вегетативная масса полыни зеленой занимает до 40% проективного покрытия. Сырой вес генеративных побегов с 1 м² в среднем 38 г, сухой – 12 г. Общая площадь данного местообитания 115 га. Урожайность сырья полыни зеленой с 1 га в сухом виде 140 кг. Биологический запас – 16,1 т.

Таким образом, в Суусамырской долине предварительно определены места произрастания полыни зеленой на площади 305 га с биологическим запасом лекарственного сырья 35,3 т.

Ат-Башинский район (расположен в южной части Нарынской области)

Нами обследовано урочище Балык-Суу, которое находится в районе слияния рек Балык-Суу и Каманды на высоте 2787 м н.у.м. Площадь участка 63 га.

Полынь зеленая в виде дернин и вегетативных побегов высотой 2–3 см произрастает повсеместно. На 1 м² в среднем 3–4 дернины диаметром от 5×10 до 30×40 см. В ложбинах, а также вокруг камней и колючих растений у полыни зеленой развиваются генеративные побеги высотой 7–13 см. С участков площадью 10 м² собрано в среднем 9 г сухого сырья. Таким образом, урожайность сухого сырья полыни зеленой на данном участке 0,57 т.

Сонкульская котловина

Сонкульская котловина расположена во Внутреннем Тянь-Шане на высоте 3089 м над уровнем моря. На большей территории преобладает злаково-разнотравная высокогорная степь. В фитоценозе – овсяница валисская (*Festuca valesiaca*), овсяница бороздчатая (*Festuca sulcata*), кобрезия низкая (*Kobresia humilis*), эдельвейс Федченко (*leontopodium fedtschenkoanum*), одуванчик мелкосемянный (*Taraxacum microspermum*), подмаренник саурский (*Galium saurense*), лапчатка неодетая (*Potentilla evestita*), астрагал каменный (*Astragalus lithophilus*). Полынь зеленая произрастает по всей территории Сонкульской котловины, за исключением приозерных болотистых участков.

Жайлоо Ак-Таш в Кочкорском районе

1 участок. Восточная часть участка жайлоо, полынь зеленая находится в фазе отцветания, побеги подсохшие. На 1 м² произрастает 3–4 дернины диаметром 20×30 см. и до 10 генеративных побегов высотой 10–20 см. Сырой вес побегов – 4 г, сухой – 1,5 г. Урожайность сухого сырья 15 кг/га.

2 участок. Там же. Район калмыкских холмов. Полынь зеленая обильно произрастает в увлажненных ложбинах. Ассоциация – эдельвейсово-типчаково-разнотравная. Дернины полыни зеленой местами до 90%

покрывают поверхность почвы, в то время как генеративных побегов 8–13 шт. на 1 м² при максимальной высоте 13 см. Сухой вес побегов 1 г/м². Урожайность сухого сырья 10 кг/га.

3 участок. Там же. Местность за мостом через реку Сонкуль. Ассоциация – типчаково-разнотравная. Значительная часть до 80% проективного покрытия составляют дерновины полыни зеленой размером в среднем 30×20 см. На 1 м² встречается до 10 генеративных побегов высотой 10 – 22 см. Сухой вес в среднем 2,5 г. Урожайность сухого сырья 25 кг/га.

4 участок. Там же. Местность Кол-Кечуу. Ассоциация – типчаково-разнотравная. Дерновины диаметром от 10 до 30 см составляют до 50% проективного покрытия. На 1 м² встречается до 19 генеративных побегов высотой 10–25 см. Сухой вес их в среднем 4,5 г. Урожайность сухого сырья 45 кг/га.

Таким образом, на общей площади 4200 га участков жайлоо Ак-Таш урожайность побегов полыни зеленой в период цветения составляет 24 кг/га.

Биологический запас – 100,8 т.

В результате обследования отдельных участков в Кочкорском районе Сонкульской котловины отмечено, что полынь зеленая произрастает повсеместно, но, вероятно, в результате интенсивного выпаса скота генеративных побегов образуется мало. Преобладают неплодоносящие укороченные побеги, высота которых не более 5 см. На участках, где ограничен выпас скота, полынь зеленая образует полноценные генеративные побеги, которые можно использовать для заготовки лекарственного сырья.

Как видно из таблицы, наибольший биологический запас сырья полыни зеленой сосредоточен в Сонкульской котловине – 100,8 т. Это объясняется тем, что при небольшой урожайности полынь зеленая занимает площадь 4200 га. Наименьший биологический запас в Ат-Башинском районе, ур. Балык-Суу – 0,57 т. Это, по-видимому, зависит от климатических условий высокогорья и происходит из-за незначительного образования надземной массы (генеративных побегов) полыни зеленой.

Результаты определения биологического и эксплуатационного запасов сырья полыни зеленой

№ п/п	Местность	Общая площадь (га)	Продуктивность (кг/га)	Биологический запас (т)	Эксплуатационный запас (т)
1	Суусамырская долина бассейн реки Кара-Суу, место Айгыр-Жал				
	– восточный склон		210		
	– юго-восточный склон		90		
	– подножье южного склона		140		
	Всего:	90	Среднее: 147	13,2	8,84
2	Суусамырская долина Сухая пойма реки Кара-Суу. Бассейн реки Западный Каракол, район слияния рек Западный Каракол и Кокомерен.	100	60	6,0	4,00
	– юго-западный склон		160		
	– западный		120		
	Всего:	115	Среднее: 140	16,1	10,8
	Всего по Суусамырской долине	305		35,3	23,64
3	Ат-Башинский район	63	9	0,57	0,38
4	Сонкульская котловина, жайлоо Ак-Таш				
	– восточная часть		15		
	– район Калмыкских холмов		10		
	– за мостом через р. Суусамыр		25		
	– местность Кол-Кечуу		45		
	Всего:	4200	Среднее: 24	100,8	65,5
	Итого:	4568		136,67	89,52

Заключение

В результате обследования местообитаний полыни зеленой в Чуйской (Суусамырская долина) и Нарынской (Ат-Башинский район, Сонкульская котловина) областях Кыргызстана выявлено, что полынь зеленая произрастает на площади 4568 га. Установлено, что биологический запас лекарственного сырья (надземной массы) составляет 136,7 т, эксплуатационный запас 89,5 т. Наивысшая продуктивность полыни зеленой – до 210 кг/га – отмечена в Суусамырской долине в степных фитоценозах. Наименьшая продуктивность отмечается в Ат-Башинском районе – 9 кг/га. За счет значительной площади 4200 га биологический запас 100,8 т находится в Сонкульской котловине, соответственно там же наивысший эксплуатационный запас 65,5 т. В зависимости от природно-климатических условий, наличия выпаса скота и хозяйственной деятельности человека ежегодно может развиваться различное количество генеративных побегов и, следовательно, изменяться урожайность сырья полыни зеленой. Это может привести к изменению биологического и эксплуатационного запасов.

Список литературы

1. Рогова Н.А., Яковлева Н.В. Устойчивое использование лекарственных растений Кыргызстана: учебное пособие. Бишкек, 2012. 134 с.

2. Лазьков Г.А., Султанова Б.А. Кадастр флоры Кыргызстана. Сосудистые растения. Бишкек, 2014. 125 с.

3. Айзенмана С., Заурова Д., Шалпыкова К.Т., Струве Л. Лекарственные растения Средней Азии: Узбекистан и Кыргызстан. Бишкек, 2014. С. 78–79.

4. Флора Киргизской ССР. Том X1, Изд. «Илим», Фрунзе, 1965. С. 171–172.

5. Негробов В.В. Ресурсоведение лекарственных растений // Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре ботаники и микологии биолого-почвенного факультета Воронежского государственного университета. Воронеж, 2015. С. 57.

6. Крылова М.К., Шретер А.И. Методические указания по изучению запасов дикорастущих лекарственных растений. М.: ВИЛР, 1986.

УДК 612.816

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ

Шигуева Т.А., Китов В.В., Томиловская Е.С., Козловская И.Б.

Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук, Москва, e-mail: t.shigueva@gmail.com

Результаты предыдущих исследований показали, что гипогравитационный двигательный синдром характеризуется изменениями во всех звеньях двигательной системы. Цель настоящей работы составляло исследование влияний микрогравитации на характеристики точностных произвольных движений. Исследование выполнено с участием 12 испытателей-добровольцев, подвергавшихся 5-суточному воздействию «сухой» иммерсии, являющейся наиболее адекватной наземной моделью физиологических эффектов микрогравитации. В качестве модели для исследования точностных произвольных движений использовали задачу градации усилий при выполнении односуставных изометрических движений плантарной флексии. Двигательной задачей испытуемых служило различение мышечных усилий при выполнении последовательно нарастающих усилий от минимального до максимального с минимальным различием в интенсивности соседних движений. Анализировали первоначальное минимальное усилие, которое рассматривали как абсолютный порог системы точного контроля, и среднее различие между соседними усилиями рассматривали как дифференциальный порог. Случаи, когда последующее усилие не превышало предыдущее, были определены как ошибочные. Количество правильно выполненных усилий и ошибок также было проанализировано. В условиях безопорности испытуемые правильно выполняли двигательную задачу последовательного увеличения усилия. Количественный анализ, однако, выявил при этом снижение точностных возможностей систем управления движениями ног, что проявлялось в уменьшении общего числа различаемых усилий и повышении дифференциального порога.

Ключевые слова: «сухая» иммерсия, гипогравитационный моторный синдром, мотонейрон, опорная разгрузка, микрогравитация, афферентный контроль, программные движения

CHARACTERISTICS OF PRECISE MOTOR CONTROL IN HUMAN UNDER MICROGRAVITY CONDITIONS

Shigueva T.A., Kitov V.V., Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya I.B.

State Scientific Center of the Russian Federation – Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: t.shigueva@gmail.com

Results of previous studies have shown that hypogravitational motor syndrome is characterized by changes in all components of the motor system. The purpose of the present work was to study the effects of microgravity on the characteristics of precision voluntary movements. The study was carried out with participation of 12 healthy volunteers who were exposed to 5-day DRY immersion, which is the most adequate ground model of physiological effects of microgravity. As a model for the study of precision voluntary movements, we used the task of efforts gradation when performing single-joint isometric movements of plantar flexion. The motor task for the subjects was to distinguish between muscular efforts when performing gradually increasing efforts from the minimum to the maximum with a minimal difference in the intensity of neighboring movements. The initial minimal effort that is considered as an absolute threshold of the precision control system and the mean difference between neighboring efforts – considered as a differential threshold – were analyzed. The cases in which the subsequent effort didn't exceed the previous one were defined as an error. The number of properly executed efforts and errors were also analyzed. In conditions of support withdrawal, the subjects correctly performed the motor task of gradually increasing the effort. Quantitative analysis, however, revealed a decrease in accuracy capabilities of leg movement control systems, which was manifested in a decrease of the total number of distinguished efforts and an increase in the differential threshold.

Keywords: dry immersion, hypogravitational motor syndrome, motoneuron, support unloading, microgravity, afferent control, programmed movements

Многолетние исследования, выполнявшиеся сотрудниками ГНЦ РФ – ИМБП РАН, показали, что длительное пребывание в невесомости неизбежно сопровождается развитием так называемого гипокинетического двигательного синдрома, характеризующегося наличием глубоких нарушений во всех звеньях двигательной системы и в первую очередь в ее исполнительном звене – скелетных мышцах [1]. Даже при кратковременных воздействиях гипокинетический синдром проявляется глубоким снижением мышечного тонуса и, соответственно, силы и скорости мышечных сокращений, выраженных преимущественно в гравитационной мускулатуре ног и туловища, мышечной гиперрефлексией и координационными нарушениями, существенно снижающими вертикальную устойчивость и точностные возможности систем управления движениями [2, 3]. Так, снижается точность воспроизведения мышечных усилий, увеличивается время выполнения двигательных задач, возрастает число ошибок и разброс конеч-

ных позиций движений [4]. В совокупности эти изменения составляют картину гипогравитационной атаксии. В экспериментах, проведенных в полетах по параболе Кеплера, в невесомости наблюдали затруднения при выполнении точностных двигательных задач, снижение точности воспроизведения по памяти дозированных и дифференцирования близких по величине мышечных усилий, увеличение времени реализации двигательных реакций [4]. Аналогичные затруднения в оценке мышечных усилий и несоразмерность движений отмечали в ранние сроки полетов и члены экипажей космических экспедиций [5].

К факторам космического полета, которые могут влиять на систему двигательного управления, относятся невесомость, опорная и весовая разгрузка, изменение биомеханики движений и др. Применение наземных моделей физиологических эффектов микрогравитации позволяет детально исследовать изолированное влияние этих факторов. Модель «сухой» иммерсии воспроизводит опорную разгрузку [2, 3, 6].

Цель работы: исследование влияния микрогравитации на характеристики точностных движений.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводили в ГНЦ РФ – ИМБП РАН на стендовой базе «Сухая иммерсия», входящей в состав УНУ «Медико-технический комплекс для отработки инновационных технологий космической биомедицины в интересах обеспечения орбитальных и межпланетных полётов, а также развития практического здравоохранения».

Исследования проводили с участием 12 здоровых испытателей-добровольцев в возрасте 24–45 лет (рост не более 182 см, вес не более 75 кг). Испытатели были допущены к участию в эксперименте врачебно–экспертной комиссией Института и подписали Информированное согласие на участие в исследовании в соответствии с положением Хельсинкской декларации прав человека. Процедура исследований была предварительно рассмотрена и одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ – ИМБП РАН. Согласно программе эксперимента в ходе иммерсионного воздействия никакие другие воздействия не применялись.

Моделирование эффектов микрогравитации

В качестве экспериментальной модели микрогравитации использовали 5-суточную «сухую» иммерсию (СИ), которая, согласно данным многочисленных исследований, наиболее корректно и полно воспроизводит двигательные эффекты невесомости [2, 5]. По условиям модели в ходе эксперимента испытатели находятся в ванне размером 200x100x100, наполненной водой температурой 33,5 °C, от которой их отделяет тонкая эластическая водонепроницаемая ткань площадью в несколько раз больше площади поверхности воды. В иммерсионную среду испытатели погружаются в горизонтальном положении до уровня шеи (рис. 1).

Исследование точностных характеристик произвольных движений ног в условиях «сухой» иммерсии

Для изучения особенностей выполнения точностных произвольных движений использовали задачу градации усилия при осуществлении односуставных изометрических подошвенных сгибаний (рис. 2).

Выполняя задачу, испытуемые должны были развивать серию усилий (от минимального до максимального) с минимальной разницей между соседними движениями. Изометрические подошвенные сгибания ноги осуществлялись в положении лежа на спине.

Рис. 1. Модель гипогравитации – «сухая» иммерсия [6]

Выполнявшая задачу нога была фиксирована к тендометрической педали, другая – находилась в состоянии покоя. При выполнении тестов с помощью тензометрического датчика, встроенного в педаль, через внешний модуль АЦП системы PowerLab 16/35 и восьмиканальный усилитель «OctalBioAmp» фирмы ADInstruments (Австралия) регистрировали развиваемое трехглавой мышцей голени усилие, а также электромиограмму мышц голени. Выполняемые в начале задачи минимальные усилия при этом рассматривали как абсолютный порог системы управления движением, а среднюю разницу между соседними усилиями – как порог дифференциальный. Случаи, когда последующее усилие не превышало предыдущего, оценивались как ошибки. В ходе анализа учитывали число выполненных усилий и количество ошибок.

Эксперименты проводились до СИ, дважды в течение СИ и на следующий день после его завершения.

Для проведения статистического анализа полученных результатов использовался пакет STATISTICA, версия 10. Сравнительный анализ показателей осуществлялся непараметрическими методами с использованием критерия Уилкоксона. Значимость отличий группы параметров от нуля определялась на уровне $p < 0,05$ для средних значений. Результаты представлены как среднее ± стандартная ошибка среднего.

Результаты исследования и их обсуждение

В условиях «сухой» иммерсии испытуемые обычно правильно выполняли моторную задачу. Однако анализ данных выявил снижение точности в системе управления движениями ног, проявляющееся уменьшением количества выполненных градаций и повышением дифференциального порога усилия.

На 5-й день СИ количество выполненных градаций значительно снижалось – до 29,5 ± 14,3 против 36,5 ± 13,8 в фоновых исследованиях ($p < 0,05$) (рис. 3, А).

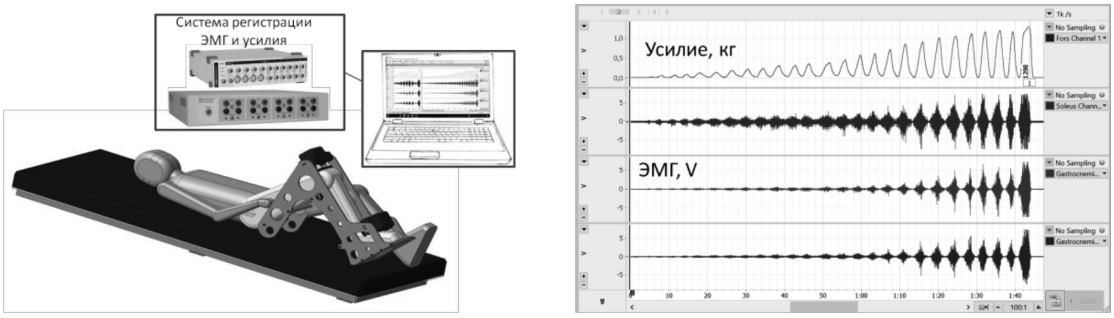


Рис. 2. Слева: схема экспериментальной установки для исследования точностных характеристик движений ног. Справа: пример записи исследования точностных характеристик движений ног

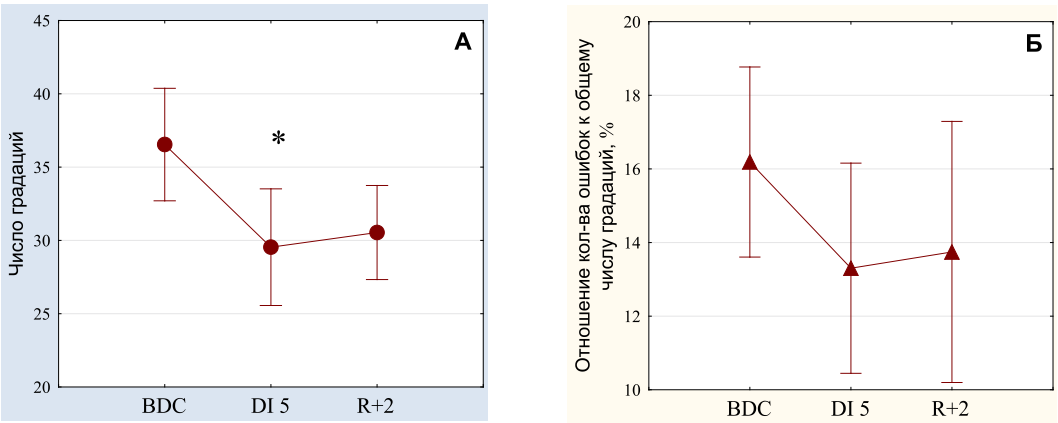


*Рис. 3. Число выполняемых градаций (А) и отношение количества ошибок к общему числу градаций (Б) до СИ, на пятые сутки воздействия и через двое суток после завершения СИ. Примечание: BDC – фоновые данные; DI 5 – пятый день СИ; R + 2 – вторые сутки после СИ; * – достоверные изменения по сравнению с фоновыми значениями, $p < 0,05$*

Отношение количества ошибок к общему количеству градаций в ходе СИ при этом постепенно уменьшалось с 16,2 ± 9,3 % до 13,3 ± 10,3 %, что было связано, по-видимому, с эффектом обучения (рис. 3, Б).

Величина дифференциального порога усилия в СИ значительно выросла на 5-й день СИ – до 5,7 ± 1,7 (против 4,5 ± 1,5 при сборе фоновых данных ($p < 0,05$) (рис. 4, А). Также в этот период отмечалась тенденция к повышению абсолютного порога мышечного усилия (рис. 4, Б).

После завершения СИ у 10 испытателей из 12 было зарегистрировано снижение максимальной произвольной силы мышц голени на 10 % (рис. 5, А), свидетельствовавшее, по-видимому, об изменении скоростно-силовых свойств мышц, что подтверждается данными других исследований [7].

Линейные графики, отображающие зависимость между порядковым номером движения и его амплитудой, приобретали более крутой характер (рис. 5, Б).

Настоящее исследование показывает, что пребывание в условиях 5-суточной опорной разгрузки, не вызывающей глубоких изменений в активности механизмов контроля, оказывает влияние на точность систем управления. В движениях программного типа снижение точности выполнения двигательных задач состояло в значительном уменьшении числа различимых градаций силы с увеличением абсолютного и дифференциального порогов.

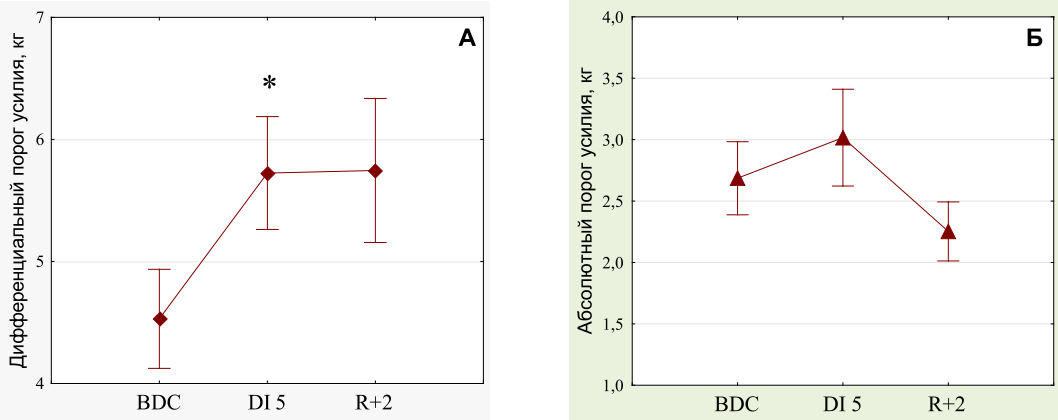


*Рис. 4. Значения дифференциального порога усилия (средняя разница между величиной соседних ступеней) (А) и значения абсолютного порога усилия (минимальное усилие) (Б) до СИ, на пятые сутки воздействия и через двое суток после завершения СИ. Примечание: BDC – фоновые данные; DI 5 – пятый день СИ; R + 2 – вторые сутки после СИ; * – достоверные изменения по сравнению с фоновыми значениями, $p < 0,05$*

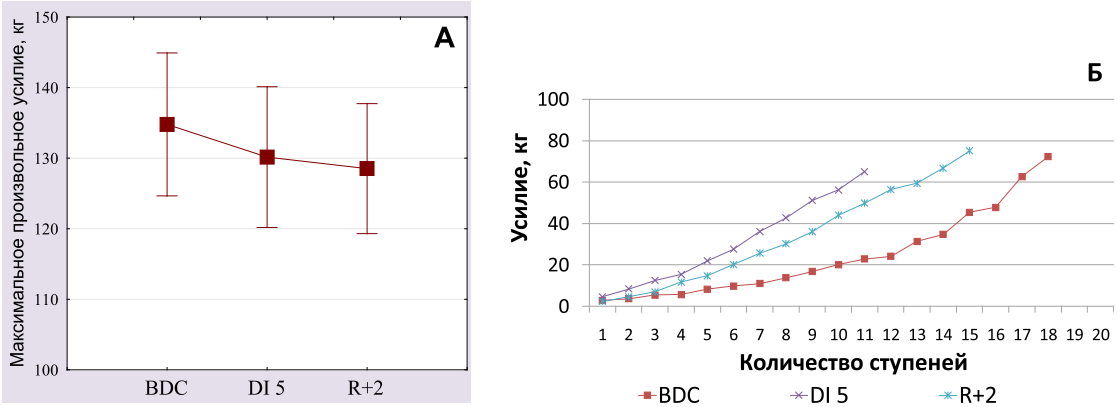


Рис. 5. Значения максимального произвольного усилия (А) и амплитуда и количество выполняемых ступеней у испытателя 6 (Б) в задаче на градацию усилия до СИ, на пятые сутки воздействия и через двое суток после завершения СИ. Примечание: BDC – фоновые данные; DI 5 – пятый день СИ; R + 2 – вторые сутки после СИ

Сравнение данных, полученных в наших исследованиях, с результатами, полученными в исследованиях с использованием другой модели микрогравитации – антиортостатической гипокинезии, показало, что изменения, наблюдаемые на первой стадии антиортостатической гипокинезии, были аналогичны изменениям, наблюдаемым в СИ [8]. Как и при «сухой» иммерсии, гипокинезия вызывала относительно быстрое увеличение изменений в системе точностного контроля, хотя скорость их развития была существенно меньшей (максимальные изменения наблюдались через 3–5 дней «сухой» иммерсии по сравнению с 5–15 днями с гипокинезией), а глубина нарушений была ниже. Возможно, глубина и скорость развития изменений тесно связаны со степенью опорной разгрузки, которая максимальна при иммерсии.

Анализ данных, полученных в экспериментах с «сухой» иммерсией, привел к предположению, что существует связь между наблюдаемыми изменениями и уменьшением потока афферентации, и, как следствие, снижением тонуса антигравитационной мускулатуры [2, 9]. Результаты исследований поперечной жесткости мышц голени, выполненных после 7-дневных космических полетов, выявили снижение мышечного тонуса на 15–20 % в *m. gastrocnemius* и *m. soleus* на вторые сутки после приземления [2]. Это явление было детально изучено в иммерсионных экспериментах, демонстрирующих быстрое снижение (до 40–50 %) поперечной жесткости во всех трех головках разгибателя голени – латеральной и медиальной *m. gastrocnemius* и наиболее заметной – в *m. soleus* в течение первых 6 часов воздействия [10]. Снижение поперечной жесткости одиночных мышечных волокон было также обнаружено в *m. soleus* после 7-дневной СИ [2].

Основной вклад в развитие нарушений точности после кратковременных воздействий вносят изменения в активности тонических механизмов вследствие эффектов невесомости и частичной проприоцептивной деафферентации. Последнее, как известно, приводит к гиперчувствительности проприоцептивных входов в спинном мозге, с неспецифическим увеличением возбудимости центральных структур и снижением эффективности тормозных процессов. На повышенную возбудимость мотонейронов и снижение процессов сегментарного торможения указывают изменения в кривой вовлечения Н-рефлекса, наблюдаемое в условиях иммерсии [11]. Резкое снижение эффективности тормозных процессов может быть причиной синхронизации активности двигательных единиц, наблюдаемой в это время, а также дестабилизации их ритмичности. Обратное торможение является одним из факторов, лежащих в основе стабильной активности мотонейронов [12]. Исключение опоры, приводящее к значительному снижению активности тонической системы, может рассматриваться как исходный триггерный фактор для изменения характеристик точностных движений. Как показывают результаты, полученные нами, задача поддержания относительно небольших усилий (аналогичных постуральным движениям) при переходе к СИ, которая в нормальных земных условиях выполняется в основном небольшими тоническими двигательными единицами, по-видимому, решается путем вовлечения фазных двигательных единиц в выполнение движения.

Исключение опорной афферентации инактивирует пул медленных двигательных единиц, что приводит к селективной инактивации и последующей атонии и атрофии мышечных волокон, экспрессирующих медленные изоформы тяжелой цепи миозина (которые составляют большинство мышечных волокон *soleus*). Волокна, которые потеряли значительную часть молекул цитоскелета, неспособны к эффективной моторной мобилизации актомиозина, что приводит к снижению чувствительности к кальцию и снижению максимального напряжения в проницаемых волокнах. Уменьшение размеров как медленных, так и быстрых типов мышечных волокон достигало 5–9 % через 3 дня и 15–18 % после 7 дней пребывания в «сухой» иммерсии [13, 14]. Молекулярные исследования также выявили изменения в сигнальных ответах мышц на ранних стадиях гравитационной разгрузки [15].

Заключение

Таким образом, наши исследования показали, что 5-суточная опорная разгрузка сопровождается снижением точностных возможностей систем управления движениями ног, что проявляется в уменьшении общего числа различаемых градаций и повышении дифференциального порога мышечных усилий при выполнении плантарной флексии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-315-00287 мол_а.

Список литературы

1. Какурин Л.И., Черепахин М.А., Первушин В.Н. Влияние факторов космического полета на мышечный тонус у человека // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1971. Т. 5. № 2. С. 63–68.

2. Tomilovskaya E.S., Shigueva T.A., Sayenko D., Rukavishnikov I.V., Kozlovskaya I.B. Dry Immersion as a Ground-

Based Model of Microgravity Physiological Effects. Front. Physiol. 2019. 10: 284. DOI: 10.3389/fphys.2019.00284.

3. Watenpaugh D.E. Analogs of microgravity: head-down tilt and water immersion. 2016. J. Appl. Physiol. Vol. 120. P. 904–914. DOI: 10.1152/japplphysiol.00986.2015.

4. Чхаидзе Л.В. Координация произвольных движений человека в условиях космического полета. М.: Наука, 1968. 133 с.

5. Брянов И.И., Козеренко О.П., Какурин Л.И. Особенности стато-кинетических реакций // Космические полеты на кораблях «Союз»: Биомедицинские исследования / Под ред. Газенко О.Г., Какурина Л.И., Кузнецова А.Г. М.: «Наука», 1976. С. 216–230.

6. Шульженко Е.Б., Виль-Вильямс И.Ф. Возможность осуществления длительной водной иммерсии методом «сухой» иммерсии // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1976. Т. 10. № 2. С. 32–34.

7. Koryak Y.A. Architectural and functional specifics of the human triceps surae muscle in vivo and its adaptation to microgravity. Journal of Applied Physiology. 2019. Vol. 126. № 4. P. 80–893. DOI: 10.1152/japplphysiol.00634.2018.

8. Kozlovskaya I.B., Kirenskaya A.V., Mechanisms of disorders of the characteristics of fine movements in long-term hypokinesia. Neurosci. Behav. Physiol. 2004. Vol. 34. № 7. P. 747–754. DOI: 10.1023/B:NEAB.0000036017.46801.5c.

9. Demangel R., Treffel L., Py G., Brioche T., Pagano A.F., Bareille M.-P., Beck A., Pessemesse L., Candau R., Gharib C., Chopard A., Millet C. Early structural and functional signature of 3-day human skeletal muscle disuse using the Dry Immersion model. The Journal of Physiology. 2017. Vol. 595. P.4301–4315. DOI: 10.1113/JP273895.

10. Миллер Т.Ф., Саенко И.В., Попов Д.В., Виноградова О.Л., Козловская И.Б. Влияние безопорности и стимуляции опорных зон стоп на характеристики поперечной жесткости и электромиограммы покоя мышц голени // Авиакосм. и эколог. мед. 2010. Т. 44. № 6. С. 16–19.

11. Zakirova A.Z., Shigueva T.A., Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya, I.B. Effects of mechanical stimulation of the sole support zones on the H-reflex characteristics under conditions of support unloading. Human Physiology. 2015. Vol. 41. P. 150–155. DOI: 10.1134/S0362119715020176.

12. Shigueva T.A., Zakirova A.Z., Tomilovskaya E.S., Kozlovskaya I.B. Effects of support deprivation on the order of motor unit recruitment. Human Physiology. 2015. Vol. 41. P. 813–816. DOI: 10.1134/S036211971507021X.

13. Fitts R.H., Trappe S.W., Costill D.L., Gallagher P.M., Creer A.C.,Colloton P.A., Peters J.R., Romatowski J.G., Bain J.L., Riley D.A. Prolonged space flight-induced alterations in thestructure and function of human skeletal muscle fibres. The Journal of Physiology. 2010. Vol. 588. P. 3567–3592. DOI: 10.1113/jphysiol.2010.188508.

14. Shenkman B.S. From slow to fast: hypogravity-induced remodeling of muscle fiber myosin phenotype. Acta Nat. 2016. Vol. 8. P. 47–59.

15. Vil'chinskaya N.A., Mirzoev T.M., Lomonosova Y.N. Effect of Short-term Dry Immersion on Proteolytic Signaling in the Human Soleus Muscle. Human Physiology. 2017. Vol. 43. P. 787–792. DOI: 10.1134/S0362119717070209.

ОБЗОРЫ

УДК 636.22:619:616-07

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ДИАГНОСТИКА НОДУЛЯРНОГО ДЕРМАТИТА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

[1,2]Алмежанова М.Д., [1]Шораева К.А., [1]Мухами Н.Н., [1]Бурашев Е.Д., [2]Туменбаева Н.Т., [1]Закарья К.Д., [1]Султанкулова К.Т.

[1]«Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, Гвардейский, e-mail: meirima_89@mail.ru;

[2]Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Тараз

Нодулярный дерматит крупного рогатого скота (НД КРС) представляет собой особую экономическую проблему для промышленного животноводства в большинстве стран мира. По данным МЭБ, НД КРС внесен в перечень болезней, методы диагностики и профилактики которых регламентируются стандартами Всемирной организации здравоохранения животных. Диагностика НД с применением молекулярно-генетических методов позволит обнаружить вирус даже тогда, когда его концентрация очень мала, т.е. на самых ранних стадиях заболевания. В настоящее время наиболее известным и достоверным методом диагностики заболеваний крупного рогатого скота является экспериментальный метод молекулярной биологии – полимеразная цепная реакция (ПЦР). Высокая специфичность ПЦР определяется тем, что в искомом материале выявляется единственный специфический фрагмент ДНК лишь для данного возбудителя. Также данный метод характеризуется высокой чувствительностью, которая дает возможность обнаружить индивидуальные фрагменты вирусных нуклеиновых кислот. Одной из наиболее важных задач для ранней диагностики заболевания является разработка диагностических тест-систем на основе метода ПЦР. Разработка ПЦР тест-систем позволит не только обеспечить своевременной диагностикой заболевания, но и продвинет страну-производителя на новый, более высокий технологический уровень. В статье описывается молекулярная диагностика вируса НД КРС при помощи тест-системы для выявления вируса нодулярного дерматита методом ПЦР, при разработке которой были использованы современные методы вирусологии и молекулярной биологии. Диагностическая ПЦР тест-система эффективна для применения в ветеринарии для выявления вируса нодулярного дерматита крупного рогатого скота.

Ключевые слова: нодулярный дерматит, крупный рогатый скот, полимеразная цепная реакция, тест-система, диагностика, разработка, молекулярная биология

MOLECULAR DIAGNOSIS OF CATTLE LUMPY SKIN DISEASE

[1,2]Almezhanova M.D., [1]Shoraeva K.A., [1]Mukhami N.N., [1]Burashev E.D., [2]Tumenbaeva N.T., [1]Zakarya K.D., [1]Sultankulova K.T.

[1]«Research Institute for Biological Safety Problems» Committee of Science Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Gvardeyskiy, e-mail: meirima_89@mail.ru;

[2]Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz

Lumpy skin disease (LSD) of cattle is a particular economic problem for livestock production in most countries of the world. According to the OIE, LSD is included in the list of diseases, diagnostic and prophylactic methods, which are regulated by the World Organization of Animal Health standards. LSD diagnosis using molecular and genetic methods will detect the virus even when its concentration is very low, i.e. in the beginning stages of the disease. Currently, the most famous and reliable method for the diagnosing cattle diseases is the experimental method of molecular biology – polymerase chain reaction (PCR). The high specificity of PCR is determined by the fact that a unique, specific DNA fragment is detected in the test material only for a given pathogen. Also, this method is characterized by high sensitivity, which makes it possible to detect individual fragments of viral nucleic acids. One of the most meaningful tasks for the disease early diagnosis is the development of diagnostic PCR test-systems. The development of PCR test-systems will not only provide timely diagnosis of the disease, but also advance the manufacturing country to a new higher technological level. The article describes the molecular diagnostics of LSD virus using a test-system for LSD virus detecting by PCR, in the development of which were used modern methods of virology and molecular biology. The diagnostic PCR test-system is effective for use in veterinary medicine to detect the cattle LSD virus.

Keywords: lumpy skin disease, cattle, polymerase chain reaction, test-system, diagnosis, development, molecular biology

Нодулярный дерматит крупного рогатого скота (НД КРС) – высококонтагиозное, инфекционное, сопровождающееся сыпью, иногда смертельное заболевание КРС. Вирус НД относится к группе *Neethling* рода *Capripoxvirus* семейства *Poxviridae*. Вирус НД близкородственен к вирусам оспы овец и оспы коз. Морфологически вирионы вируса *Neethling* схожи с вирусом оспы овец, имеют округлую форму с двойной оболочкой и плотной сердцевиной. Вирионы размером 320–260 нм [1–4].

Нодулярный дерматит крупного рогатого скота имеет острую, подострую или скры-

тую форму. Тяжесть заболевания модифицируется соответственно от особенностей штамма каприпоксвируса, также от вида и рода восприимчивых животных [5].

НД КРС необходимо дифференцировать от папулезного стоматита КРС (*Parapoxvirus*), параоспы (*Parapoxvirus*), оспы и чумы КРС, кожной формы туберкулеза, гиподерматоза, онхоцеркоза, демодекоза, крапивницы, дерматофилеза, укусов клещей и насекомых [6].

Нодулярный дерматит является очень серьезной болезнью, требующей особого внимания и контроля со стороны ветеринарных служб. Несет реальную угрозу для отрасли животноводства: уменьшение поголовья, объемов продукции животноводства, эффективности воспроизведения, а также угроза качеству генетических ресурсов; запрет на производство, переработку и экспорт продукции животноводства [7, 8]. В связи с этим возникает задача о необходимости регулярного контроля за ростом эпизоотической ситуации в странах для своевременного предупреждения появляющихся вспышек заболеваний или минимизировании ущерба [9, 10].

Нодулярный дерматит согласно ранее существовавшей классификации инфекционных болезней входил в перечень особо опасных заболеваний крупного рогатого скота. На сегодняшнее время болезнь введена в список МЭБ, в связи с этим заболевание КРС данной болезнью подлежит непременной нотификации [11, 12].

Нодулярный дерматит впервые распространился на территории Южной и Восточной Африки в таких странах, как Зимбабве, ЮАР, Мозамбик, Гвинея, Ботсвана и Северной Африки – Оман, Бахрейн, Египет, Кувейт. Далее в 1960-е гг. вспышки нодулярного дерматита были зарегистрированы в Израиле, Палестине и Ливане. Немного спустя болезнь настигла такие страны, как Саудовская Аравия, Турция, Греция, Иордания и Сирия [13, 14].

В 2013–2014 гг. болезнь регистрировалась в Израиле, Ливане, Иордании, Палестине, Ираке и Египте. В этот же период Турция нотифицировала в МЭБ 325 вспышек болезни [7, 9]. Согласно данным государственных служб по ветеринарии в 2014 г. заболевание КРС нодулярным дерматитом было выявлено на территории Турции – более 200 очагов, 32 очагов в Ливане, по 16 в Азербайджане и Ираке, и по 6 очагов в Иране и Египте [11].

Впервые вспышки НД КРС были зарегистрированы в 2016 г. в Атырауской области Республики Казахстан [2].

Распространение вируса НД КРС в стране требует применения высокочувствительных диагностических экспресс-методов, которые позволят в довольно короткие сроки подтверждать диагноз с целью применения мер для предупреждения и борьбы с данным заболеванием.

Для диагностики разработаны такие методы, как классическая ПЦР [15, 16], а также и количественная ПЦР в режиме реального времени [17, 18], которые по сравнению с другими методами, такими, как электронная микроскопия, вирусовыделение и ИФА, имеют явное преимущество по доступности, чувствительности и специфичности [19].

Систематическая и своевременная диагностика послужит основой для эффективных оздоровительных мероприятий. Тем самым поможет быстрой локализации возникшего эпизоотического очага и предупреждению дальнейшему распространению болезни.

Для лабораторной диагностики отбирают биоптаты кожи, стабилизированную ЭДТА кровь, мазки со слизистых оболочек, сыворотку крови, которую транспортируют с соблюдением «холодной цепочки». Серологические методы исследования (реакция нейтрализации, иммунофлюоресцентный анализ антител, иммунопероксидазный монослойный анализ, ИФА) удлиняет срок диагностики НД, поэтому применяют молекулярно-генетические методы – ПЦР, ПЦР в режиме реального времени, видоспецифическую ПЦР (вирус нодулярного дерматита, вирус оспы овец, вирус оспы коз) [20, 21].

На современном этапе ПЦР-диагностика является самой общераспространенной и динамично прогрессирующей технологией. Интерес специалистов к методу ПЦР, на основе многократного реплицирования специфического участка нуклеотидной последовательности, катализируемое ДНК-полимеразой, возросло, когда практика показала, что разработанные иммуноферментные методы обнаружения специфических антител часто дают ложноположительные результаты. Также методы, основанные на выявлении вирусных белков с помощью специфических антител, не всегда срабатывают из-за высокой антигенной изменчивости вирусов и возможности перекрестных реакций с некоторыми клеточными белками. Кроме того, использование разных видов диагностики на основе иммунной химии – серологического анализа, твердофазного иммуноферментного анализа (ТФИФА), реакцией непрямой иммунофлюоресценции (РНИФ) и т.д. – не всегда приводит к удовлетворительным результатам. Таким образом, необходимость совершенствования диагностических методов принуждает обращаться к молекулярно-биоло-

гическим методам, в первую очередь ПЦР. Из года в год на рынке биопрепаратов появляется множество новых диагностических ПЦР тест-систем, которые предназначены как для обнаружения нуклеотидных последовательностей различных микроорганизмов – возбудителей заболеваний, так и для генетического исследования. Шаг за шагом снижается цена ПЦР-анализа, что способствует все более широкому использованию метода в диагностических учреждениях.

Применение метода ПЦР и различных его модификаций для диагностики инфекционных заболеваний обладает множествами преимуществами, такими как прямая детерминация ДНК возбудителя, высокоспецифичность, высокочувствительность, универсальность проведения процедуры, простота и удобство проведения анализа, скорость проведения анализа. Преимущества делают ПЦР незаменимой при диагностике персистирующих вирусных инфекций, для которых характерны низкие концентрации вируса в тканях и биологических жидкостях организма в латентный период заболевания [22].

Тяжелые случаи НД распознаются легко, так как они сопровождаются весьма характерными симптомами. Однако требуется лабораторное подтверждение с помощью ПЦР на начальных стадиях инфекции и при легких формах заболевания, таким образом можно быстро и уверенно определить заболевание.

По данным зарубежных авторов, поврежденные участки кожи, слизистых оболочек или подкожной клетчатки применяются для выделения вируса НД КРС. Вместе с пораженными тканями исследуются носовые истечения, истечения из пораженных глаз и слюна. При лабораторной диагностике НД КРС проводят выделение вируса в культуре клеток. Метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) применяется для выявления генома вируса в патологическом материале. С использованием данного метода выявляют не только геном возбудителя НД КРС, также дифференцируют его от близкородственных вирусов оспы овец и коз. Метод электронной микроскопии является экспрессным методом обнаружения вируса НД КРС и его распознанию от других патогенов [23].

Диагностика лабораторная. Идентификация агента:

– Образцы для выделения вируса и обнаружения антигена с использованием метода ИФА следует брать в течение первой недели появления симптомов, до того, как появятся нейтрализующие антитела. Образцы для ПЦР можно собирать по истечении этого времени.

– У живых животных образцы биопсии узлов кожи или лимфатических узлов могут использоваться для ПЦР, выделения вирусов и обнаружения антигенов.

– Вирус НД можно выделить из образцов крови (собранных в гепарин или ЭДТА) во время ранней, виремической стадии заболевания.

– Образцы пораженных органов, включая ткани, должны быть представлены для гистопатологии.

– Образцы тканей и крови для выделения вируса и обнаружения антигена должны быть охлаждены и отправлены в лабораторию на льду. Если образцы будут отправлены на большие расстояния без охлаждения, следует собрать крупные кусочки ткани, а среда должна содержать 10% глицерина; центральная часть образца может использоваться для выделения вируса [24].

В связи с появлением заболевания в Республике Казахстан возникла острая необходимость иметь высокоэффективные диагностические биопрепараты, которые позволили бы идентифицировать возбудителя нодулярного дерматита КРС. Такого рода случай требует непрерывных поисков штаммов, пригодных для производства диагностических средств нодулярного дерматита КРС.

На сегодняшний день в казахстанском рынке биопрепаратов отсутствуют диагностические наборы и тест-системы для выявления НД КРС. В основном в рамках Государственного заказа закупаются импортными тест-системами для диагностики нодулярного дерматита.

Диагностические тест-системы зарубежных производителей выделяются своей дороговизной, что является проблематичным для животноводческих хозяйств страны. Тем самым стоит задача обеспечить животноводческий сектор Казахстана качественной и эффективной диагностической тест-системой в необходимом объеме и по доступным ценам.

В связи с обостренной ситуацией по нодулярному дерматиту в Казахстане, Республиканское государственное предприятие «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности» Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках НТП: «Ветеринарная безопасность территории Республики Казахстан: эпизоотологический мониторинг, испытание, внедрение и коммерциализация средств специфической профилактики и диагностики особо опасных инфекционных заболеваний» (2018–2020 гг.) при финансировании Министерства сельского хозяйства Республики

Казахстан разработала и внедрила в производство «Тест-систему для лабораторной диагностики нодулярного дерматита методом ПЦР», которая является конкурентоспособной зарубежным аналогам по параметрам чувствительности, специфичности, также доступности, что немаловажно для сельского хозяйства Казахстана.

В результате работ [25], проведенных авторами, была подобрана и синтезирована пара олигонуклеотидных праймеров: LSDV-2-f и LSDV-2-r. При постановке ПЦР олигонуклеотидные праймеры LSDV-2-f и LSDV-2-r с рабочей концентрацией 20 пмоль обладали более высокой специфичностью при выявлении вируса нодулярного дерматита КРС. Праймеры были использованы для амплификации фрагмента гена GPCR, кодирующего хемокиновый рецептор генома вируса нодулярного дерматита КРС. Ген GPCR считается одним из основных молекулярных биомаркеров для дифференциальной диагностики каприпоксвирусов: оспы овец, оспы коз и НД КРС. Конструированные праймеры были использованы при создании отечественной ПЦР тест-системы.

Тест-система для диагностики нодулярного дерматита крупного рогатого скота методом полимеразной цепной реакцией (ПЦР), применяется для выявления ДНК нодулярного дерматита крупного рогатого скота в пробах патологического материала (фрагменты тканей (пораженная кожа) и органов, цельная кровь, мазки со слизистых ротоглотки).

При диагностике заболевания с использованием тест-системы материалы с подозрением на нодулярный дерматит исследуются поэтапно методами молекулярной биологии – подготовка проб, выделение ДНК, постановка ПЦР, электрофоретический анализ продуктов амплификации ДНК в агарозном геле в строгом соответствии с инструкцией производителя.

В состав тест-системы для диагностики НД КРС методом ПЦР входят три набора, включая контрольные пробы. Тест-система рассчитана на проведение 55 анализов:

– набор № 1 для выделения ДНК;

– набор № 2 для проведения ПЦР-амплификации участка ДНК;

– набор № 3 для электрофоретической детекции продуктов амплификации в агарозном геле.

Результат диагностирования заболевания тест-системой методом ПЦР считается положительным, если в продукте реакции обнаруживается фрагмент ДНК вируса НД КРС размером 347 п.о.

В результате проведения производственного испытания тест-системы всего было исследовано 196 проб вирусного и патологического материала от больных и здоровых животных, доставленные из разных хозяйств. Из них 174 (88,78 %) проб показали положительный результат, соответствующий к ПЦР фрагменту в области 347 п.о. Тогда как образцы, выделенные от здоровых животных в количестве 22 (11,22 %), оказались отрицательными. Тем самым результат испытаний указывает на высокую эффективность тест-системы.

Согласно рекомендациям МЭБ для диагностики нодулярного дерматита применяются такие виды метода ПЦР, как классическая, так и в режиме реального времени. Стоит отметить, что предложенные и рекомендованные МЭБ методы выявляют также ДНК вирусов оспы овец и оспы коз [8]. По сведениям зарубежных авторов, существуют видоспецифичные методы ПЦР, которые могут дифференцировать вирусы НД, оспы овец и оспы коз [26].

Заключение

Таким образом, важно отметить, что на сегодняшний день самый востребованный и современный метод ПЦР считается надежным, чувствительным и специфичным для выявления вируса нодулярного дерматита в пробах от крупного рогатого скота. Специфичность метода ПЦР для лабораторной диагностики нодулярного дерматита КРС экспериментально проверена с ДНК представителями каприпоксвирусов (оспы овец и коз). Высокая специфичность данного метода обусловлена тем, что во всех случаях был получен отрицательный результат. Важно отметить, при постановке метода ПЦР были выявлены только ДНК полевых изолятов вируса нодулярного дерматита, тогда как результаты матрицы ДНК вирусов оспы овец, оспы коз и оспы верблюдов были отрицательными. В ходе экспериментов установлено, что метод ПЦР для лабораторной диагностики нодулярного дерматита КРС характеризовался высокой аналитической чувствительностью до 1 пг ДНК вируса нодулярного дерматита крупного рогатого скота [26].

Применение ПЦР-метода в лабораторной диагностике нодулярного дерматита способствует своевременному предупреждению распространению заболевания.

Метод полимеразной цепной реакции для диагностики нодулярного дерматита крупного рогатого скота рекомендуется для применения в профильных лабораториях и ветеринарных инстанциях, проводящих диагностические исследования болезней животных.

Работа выполнена в рамках ПЦФ: «Ветеринарная безопасность территории Республики Казахстан: эпизоотологический мониторинг, испытание, внедрение и коммерциализация средств специфической профилактики и диагностики особо опасных инфекционных заболеваний» (ИРН BR06249226) при финансировании Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан.

Список литературы

1. Salib F.A., Osman A.H. Incidence of lumpy skin disease among Egyptian cattle in Giza Governorate. Egypt. Vet World. 2011. no. 4. P. 162–167.

2. Мищенко А.В., Мищенко В.А., Шевкопляс В.Н., Джаилиди Г.А., Дресвянникова С.Г., Черных О.Ю., Кононов А.В. Акбаев Р.М. Экологические особенности нодулярного дерматита крупного рогатого скота // Ветеринария Кубани. 2017. № 5. С. 22.

3. Scientific opinion on lumpy skin disease. EFSA Journal. 2015. Vol. 13 (1). P. 3986.

4. Семакина В.П., Жильцова М.В., Саввин А.В., Акимова Т.П. Распространение заразного узелкового дерматита (Нодулярного дерматита) крупного рогатого скота в мире // Ветеринария сегодня. 2017. № 3 (22). С. 13.

5. Mohammed Body K., Pal Singh M., Hammad Hussain, Abdulmajeed Al-Rawahi, Mahir Al-Maawali, Khalisa Al-Lamki, Saif Al-Habsy. Clinico-Histopathological Findings and PCR Based Diagnosis of Lumpy Skin Disease in the Sultanate of Oman Pakistan. Veterinary Journal. 2012. Vol. 32. P. 1–5.

6. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 28 декабря 2004 года № 759 «Об утверждении Ветеринарных правил осуществления мероприятий по профилактике и ликвидации инфекционных заболеваний животных». Зарегистрирован Министерством юстиции Республики Казахстан 11 января 2005 года № 3341. Утратил силу приказом Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 17 января 2012 года № 10–1/18 [Электронный ресурс]. URL: http://adilet.zan.kz/rus/docs/V040003341. (дата обращения: 21.01.2020).

7. Beard P.M. Lumpy skin disease: a direct threat to Europe. Vet. Ec. 2016. Vol. 28. P. 557–558. DOI: 10.1136/vr.i2800.

8. Пестова Я.Е., Артюхова Е.Е., Кострова Е.Е., Шумилова И.Н., Кононов А.В., Спрыгин А.В. Разработка ПЦР в режиме реального времени для выявления полевых изолятов вируса заразного узелкового дерматита в пробах от крупного рогатого скота // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53 (2). С. 422–429.

9. Рекомендации по борьбе с нодулярным дерматитом крупного рогатого скота в Республике Казахстан // Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан Товарищество с ограниченной ответственностью «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт» (ТОО «КазНИВИ»). Алматы, 2017.

10. Мищенко А.В., Мищенко В.А., Шевкопляс В.Н., Джаилиди Г.А., Дресвянникова С.Г., Черных О.Ю., Кононов А.В., Акбаев Р.М. Проблема нодулярного дерматита крупного рогатого скота // Сборник научных трудов международной учебно-методической и научно-практической конференции (Москва, 13–14 ноября 2015 г.). М.: МВА имени К.И. Скрябина, 2015. С. 215.

11. Кодекс здоровья наземных животных МЭБ. Гл. 1.2. Критерии включения болезней, инфекций и инфестаций в список МЭБ. Париж, 2014. Т. 1. 23 изд. С. 5.

12. Официальный сайт Международного эпизоотического бюро (МЭБ). URL: http://www.oie.int/eng/info (дата обращения: 21.01.2020).

13. Косарева О.А., Кукушкина М.С., Константинов А.В., Диев В.И., Старов С.К., Яснева Е.А., Басова Д.К. Нодулярный дерматит (бугорчатка), клинические признаки при экспериментальном заражении крупного рогатого скота // Труды Федерального центра охраны здоровья животных. Владимир, 2010. Т. 8. С. 73–84.

14. Awad W.S., Ibrahim A.K., Mahran K. et al. Evaluation of different diagnostic methods for diagnosis of lumpy skin diseases in cows. Trop. Anim. Health. Prod. 2010. Vol. 42. P. 777–783.

15. Gerrit J.V., Nel L.H., Crowther J.R. Molecular Diagnos tic PCR Handbook. IAEA. The Netherlands. 2005.

16. Tuppurainen E.R., Afonse C.L., Zsak L.Z., Kutish G.F., Rock D.L. The detection of lumpy skin disease virus in samples of experimentally infected cattle using different diagnostic techniques. Onder. J. Vet. Res. 2005. Vol. 72. P. 153–164.

17. Bowden T.R., Babiul S.L., Parkyn G.R., Copps J.S., Boyle D.B. Capripox virus tissue tropism and shedding: A quantitative study in experimentally infected sheep and goats. Virology. 2008. Vol. 371. P. 380–393.

18. Balinsky C.A., Delhon G., Smoliga G., Prarat M., French R.A., Geary S.J., Rock D.L., Rodriguez L.L. Rapid preclinical detection of sheep pox virus by a realtime PCR assay. J. Clin. Microbiol. 2008. Vol. 46. P. 438–442.

19. Awad W.S., Ibrahim A.K., Mahran K., Farrah K.M., Moniem MIA. Evaluation of different diagnostic methods for diagnosis of lumpy skin disease in cows. Trop Anim Health Prod. 2010. Vol. 42. P. 777–783.

20. Коновалов М.Г., Шевченко А.А. Профилактика нодулярного дерматита в Краснодарском крае // Перспективы производства продуктов питания нового поколения: материалы Всероссийской науч.-практич. конф. с международным участием, посвященной памяти Сапрыгина Г.П. (Омск, 13–14 марта 2017 года). Омск: Издательство Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2017. С. 15.

21. Енгашев С., Смирнов Д., Алиев М. Нодулярный дерматит крупного рогатого скота // Ветеринария. 2017. С. 26–27.

22. Султанкулова К.Т., Зайцев В.Л. Вирус оспы верблюдов: биологические свойства, структура генома и диагностика. Алматы, 2017. 154 с.

23. Закутский Н.И., Балышев В.М., Юрков С.Г., Гузалова А.Г., Луницин А.В. Нодулярный дерматит крупного рогатого скота: характеристика возбудителя болезни, распространение, диагностика и меры борьбы (Обзор литературы) // Ветеринарный врач. 2016. № 4. С. 3–11.

24. OIE (World Organization for Animal Health) Lumpy skin disease, in: Manual diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals (mammals, birds and bees). Paris. 2016. Chapter 2.04.13. URL: http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Health_standards /tahm/2.04.13_LSD.pdf (дата обращения: 21.01.2020).

25. Almezhanova M.D., Tlepov A.A., Shorayeva K.A., Burashev Ye.D., Mukhami N.N., Sultankulova K.T. Design of primers for diagnosing lumpy skin disease of cattle by PCR. Alfarabi Kazakh National University Eurasian Journal of Ecology. 2019. no. 2 (60). P. 84–91.

26. Туппурайнен Е., Александров Ц., Бельтран Алькрудо Д. Заразный узелковый дерматит // Руководство для ветеринаров, подготовленное: ФАО. 2017. Руководство по животноводству и охране здоровья животных № 20. Рим. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО). 56 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.fao.org/3/b-i7330r.pdf (дата обращения: 21.01.2020).

27. Алмежанова М.Д., Шораева К.А., Шыныбекова Г.О., Червякова О.В., Султанкулова К.Т. Определение специфичности и чувствительности метода ПЦР для лабораторной диагностики нодулярного дерматита КРС // Вестник Государственного университета имени Шакарима города Семей. 2019. № 2 (86). С. 387–391.

УДК 574.635

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ КАК ОСНОВА ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ

Раимбеков К.Т., Моомбеков С.Т.

Ошский гуманитарно-педагогический институт имени А.С. Мырсабекова, Ош, e-mail: raimbekov-K@mail.ru

Совершенствование методов защиты природных вод от химического и биоорганического загрязнения с целью защиты происходящих внутри воды естественных биологических процессов, повышающих качество почвенных, поверхностных и артезианских вод, стала актуальной проблемой современной науки. Современная наука располагает разными способами и методами фильтрации загрязненных вод, но все известные методы не универсальны и требуют регулярного усовершенствования. В данной статье дан широкий обзор литературы по изучению основных методов биологической очистки как основы интенсификации работы очистительных сооружений. Анализируются методологические и теоретические проблемы очистки загрязненных вод с точки зрения их действия на природные водоемы и гидробиологии. Показаны положительные результаты лабораторных и производственных экспериментов, суть которых состоит в том, что применяемые виды водных растений эффективно очищают и обеззараживают загрязненные воды, возвращая ценный для человека ресурс. Анализ печатных источников наглядно показал возможность применения протококковых, диатомовых, зеленых микроводорослей и высших водных растений для аккумуляции и обеззараживания сточных вод. Использование биологических способов очистки загрязненных вод обусловливает сокращение отрицательного действия загрязненных вод на природные водоемы, а следовательно, и на окружающую нас среду. Проведение таких многопараметровых и комплексных научных исследований позволит в значительной мере продвинуть научные знания в этой области и открыть возможности практического использования наиболее эффективных методов биологической очистки.

Ключевые слова: зеленые водоросли, диатомовые, протококковые, очистные сооружения, биологическая очистка, сточная вода, высшее водное растение

ANALYSIS OF THE MAIN METHODS IN THE FIELD OF BIOLOGICAL TREATMENT AS A BASIS FOR THE INTENSIFICATION OF THE WORK OF STRUCTURES

Raimbekov K.T., Moombekov S.T.

Osh Pedagogical Institute of Humanitias named after A.S. Myrsabekov, Osh, e-mail: raimbekov-K@mail.ru

Improving methods for protecting natural waters from chemical and Bioorganic pollution in order to protect natural biological processes occurring inside the water that improve the quality of soil, surface and artesian waters has become an urgent problem of modern science. There are different ways and methods of filtering polluted waterin modern science, but all known methods are not universal and require regular improvement. This article provides a broad overview of the literature data on the study of the main methods of biological treatment as the basis for the intensification of the work of treatment facilities. The article analyzes methodological and theoretical problems of cleaning polluted water from the point of view of their effect on natural reservoirs and Hydrobiology. The article reveals the positive results of laboratory and production experiments, the essence of which is to lead to the fact that the used species of aquatic plants effectively purify and disinfect polluted waters, returning the resource that is important for humans. The analysis of the literature data clearly showed the possibility of using Protocol, diatom, green microalgae and higher aquatic plants for the accumulation and disinfection of waste water. Thus, the use of biological methods for cleaning polluted water causes a negative effect of polluted water on natural reservoirs, and therefore on the environment around us. Carrying out such multi-parameter and complex scientific research will significantly advance scientific knowledge in this area and open the possibility of practical use of the most effective methods of biological purification.

Keywords: green algae, diatoms, flow-through, treatment facilities, biological treatment, wastewater, higher aquatic plants

Анализ научных исследований последних десятилетий показывает, что проблема очистки и переработки производственных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых загрязненных вод недостаточно изучена. В данное время многочисленные объемы загрязненных вод без предварительной очистки сбрасываются в открытые водоемы. Необходимо отметить, что в результате активного использования естественных водных запасов для улучшения жизни человечества ухудшается экологическое состояние биосферы. В связи с отсутствием наиболее эффективных способов утилизации различных видов сточных вод возникает необходимость разработки новой технологии, в которой качество очистки сточных вод улучшается в несколько раз [1].

В настоящее время несколько ведущих международных организаций и правительств предпринимают огромные усилия по реализации глобальных программ, направленных на устранение и защиту природных водоемов от загрязнения коммунально-

бытовыми сточными водами. В результате бесконтрольного сброса загрязненных вод в естественные водоемы происходит эвтрофикация водоемов [2, 3].

Цель нашей работы: проанализировать, систематизировать и обобщить научные литературные данные по биологической очистке сточных вод и интенсификации работы сооружений.

В ряде работ отмечено, что в естественной среде биологическая очистка вод осуществляется сама собой. За несколько тысяч лет образовались наиболее устойчивые экологические взаимосвязи, когда микроскопические живые организмы играют незаменимую роль. Изучив особенности этой сложной экологической взаимосвязи, можно применить результаты исследования при проектировании различных очистных сооружений [4].

Для доочистки загрязненных вод биологическим методом в основном применяются искусственные биологические пруды и поля орошения. В биологическом пруде в основном происходят те же биологические процессы, что и при самоочищении природных водоемов. Во многих случаях биологические пруды устраиваются на местности, имеющей уклон в виде нескольких секций. Эти секции проектируются так, что загрязненная вода из верхнего пруда направляется в нижерасположенные пруды самотеком. В России были предложены идеи использования биологических прудов для очистки загрязненных вод. В 1980-е гг. в очистительных сооружениях животноводческого комплекса эти идеи активно внедрялись. В последнее время биологические пруды, как наиболее легко используемые, не требующие электроэнергии, сравнительно более дешевые и эффективные методы биологической очистки, активно охватывают все больше стран (в Австралии, США, Новой Зеландии, Канаде, Дании, Англии, Швеции, ФРГ, Швейцарии, Индии, Испании, Израиле и в России) [5, 6].

Во время использования биологических прудов для очистки загрязненных вод активно удаляется большое количество нерастворимых осадков марганца, свинца, железа и кадмия. Также во время пребывания сточной воды в биологических прудах, наиболее активно очищаются ее микрозагрязнения разными группами органических веществ [7].

В ряде научных работ показано, что при использовании микроводорослей для очистки загрязненных вод, выделяются в воду вещества, которые обладают бактерицидными свойствами. В аэробных условиях органические вещества, которые содержат в своем составе наибольшее количество углеродов, постепенно разлагаются до углекислот и воды. В то же время азотосодержащие органические вещества загрязненных вод окисляются до нитратов и нитритов. Интересно отметить, что нитраты и нитриты быстро усваиваются водорослями и во многих случаях концентрация нитритов снижается до нуля. Это дает большое санитарно–гигиеническое преимущество в процессе очистки загрязненных вод в естественных условиях. После биологической очистки загрязненных вод в искусственных сооружениях, во входящем стоке содержится большое количество азота нитратного, который представляет серьезную опасность для подземных вод и природных водоемов [8].

При поливе оращаемых сельскохозяйственных земель стоками животноводческих комплексов, земледельческие поля необходимо располагать вне санитарно-охранной зоны очистительных водоемов. Если загрязненные воды перед использованием для полива прошли биологическую очистку, то сельскохозяйственные поля должны располагаться не ближе 300 м от населенных пунктов. Если сточная вода только осветлена не ближе 500 м. При использовании для полива предварительно очищенной биологическим путем воды грунтовые воды должны находиться не менее 1,5 м от поверхности [9].

В некоторых работах показано, что при эксплуатации традиционные очистительные сооружения различной категории мощности не полностью обеспечивают потенциальную очистку загрязненных вод высокой органоминеральной концентрации. В связи с этим с целью обеспечения очистительных сооружений качественными технологическими процессами и повышения эффективности системы биологической очистки внедряется новая современная технология очистки производственных и коммунально-бытовых загрязненных вод с прикрепленной микрофлорой в аэротенках [10].

В данное время качество очистки загрязненных вод перед сбросом в естественные водоемы не соответствует нормативным требованиям. Микробиологическое загрязнение природных вод отрицательно влияет на здоровье человека. Один из главных факторов загрязнения природных вод – сброс загрязненных вод, не соответствующий нормативным требованиям, очистительные сооружения с физическими и морально устаревшими технологиями, несоответствие технологической мощности объему сброса загрязненных вод и низкий уровень производственного контроля [11].

Нельзя не заметить, что в настоящее время современная наука располагает несколькими способами очистки загрязненных вод. Но следует отметить, что имеющиеся в данное время методы все время требуют усовершенствования. Созданием универсальных методов очистки сточных вод непрерывно занимались ученые и наконец был предложен способ очистки и обеззараживания стоков с применением альгоценозов и бактериоценозов. Предложенный метод в данное время внедрен и апробирован во многих городах России, дальнем и ближнем зарубежье [12].

Для очистки коммунально-бытовых сточных вод в 1940–1950-е гг. в России одними из первых в мире велись научные работы по применению микроводорослей. В 1960–1970-е гг. ученые начали детально изучать возможности использования гидроценозов для очистки загрязненных вод животноводческих комплексов. Российские ученые обратили особое внимание на микроводоросли и бактерии рода *Ankistrodesmus*, *scenedesmus*, *bacillariophyta*, *chorella* и *lagerheimia* с целью дальнейшего использования для очистки различных сточных вод. Многочисленные результаты научных исследований свидетельствуют о том, что в системе биологической очистки загрязненных вод микроводоросли считаются важными компонентами. Микроводоросли способны до нуля удалять сложные соединения животноводческого и производственного стока, стоков текстильной, угольной, химической, перерабатывающей, металлургической промышленности [13].

Многочисленные научные работы велись также по исследованию действий разных температурных, химических и световых режимов на рост и развитие протококковых водорослей с целью дальнейшего практического использования. Разработанные данные широко применяются в экспериментах по интенсификации процессов очистки [14].

Интересно отметить, что большинство рыб регулярно питаются диатомовыми водорослями. Диатомовые водоросли часто используются в самоочищении природных водоемов. Многие виды диатомовых водорослей применяются как индикаторы загрязненных водоемов. Ведется работа по определению действия разных температурных, химических и световых режимов на кормовые протококковые водоросли для дальнейшего использования в животноводстве и рыбном хозяйстве. Научно обработанные данные применяются в экспериментах по массовому выращиванию микроводорослей на сточной воде, с целью дальнейшего производства белковой, витаминной муки и для улучшения процессов очистки стоков от загрязнений биогенных веществ [15].

Ведущие ученые многих стран мира исследовали процесс минерального питания и фотосинтеза зеленых растений, действие разных по составу ядов, радиоактивных изотопов, пестицидов на живой организм растений [16].

Многочисленные результаты современных исследований свидетельствуют о том, что микроводоросли являются основным компонентом в процессе биологической очистки. Они способны активно удалять сложные соединения, входящие в состав сточных вод животноводческого комплекса, сточных вод текстильной, угольной, химической и металлургической промышленности [17, 18].

Современная технологическая система процесса биологической очистки применяет активный ил как азот-фильтрующий компонент [19]. Отмечается сравнительно низкая концентрация бактерий, принимающих участие в процессе нитрификации. С целью решения вышеотмеченных проблем рекомендуется использовать технологии биологической очистки с применением плавающих поверхностей, загрузки с активной биомассой бактерий иммобилизованной формы – нитрификаторов.

Многолетнее изучение возможности применения плавающей загрузки для удаления загрязненных вод г. Москвы от разных соединений азота показали оптимальную результативность технологии. Эффективным методом очистки соединений фосфора из городских коммунально-бытовых загрязненных вод считается биологическая очистка. При использовании биологической очистки из сточных вод эффективно удаляется быстро окисляемая микроорганизмами растворенная форма ортофосфатов [20].

При очистке фосфора биологическим методом применяется способность бактерий синтезировать фосфорсодержащие соединения. Таким образом рост использования фосфора достигается за счет повышения дозы активного ила [21].

Лабораторные и промышленные эксперименты [22] по использованию коагулянтов с целью увеличения глубины очистки коммунально-бытовых сточных вод от фосфатов на очистительных сооружениях показали наибольшую эффективность при их совместном действии с фосфорсодержащими соединениями. Авторы рекомендуют добавить коагулянты до вторичного отстойника, это позволит в несколько раз уменьшить расход коагулянтов и повысить эффективность очистки загрязненных вод от фосфатов.

Экспериментальное изучение технологии биологической фильтрации фосфора проводилось в научно-исследовательском институте коммунального водоснабжения и очистки воды. Основным методом глубокого удаления фосфора считается модификация биологического процесса. В специализированной лаборатории проводились экспериментальные исследования биологического изъятия фосфора в контактных условиях. Результаты эксперимента показывают регулярное увеличение концентрации фосфатов в жидкой фазе отстоянного ила [23].

В настоящее время при использовании традиционных методов биологической очистки не получается достичь предельно допустимых концентраций сточных вод по содержанию всех форм азота и фосфора. Способом нитрификации – денитрификации достигается глубокое удаление азота, а методом биологической дефосфотации достигается глубокое изъятие фосфора [24]. При эффективном использовании экспериментально доказанной технологии нитрификации – денитрификации можно достичь до 80–85 % изъятия общего азота.

При создании анаэробных зон резко сокращается объем аэробных зон, в результате которого снижается потенциальная эффективность очистки от азота и органических веществ. В связи с этим в некоторых зарубежных странах во время использования данных технологий в применяемых аэротенках рассчитывается 20 %-ное уменьшение гидравлических нагрузок на очистительные сооружения [25].

Для оптимального изъятия из загрязненных вод разного состава биогенных элементов, в настоящее время в практике биологической очистки широко применяют традиционные схемы сочетания анаэробных и аэробных стадий [26].

1. Сравнительно более простая анаэробно-оксидная схема для одновременного изъятия фосфора и азота из загрязненных вод спроектирована в США. Это наиболее дешевая схема изъятия фосфора и азота, но ее используют только высоконагружаемые очистительные сооружения промышленного состава [27].

2. Схема очистки Bardenpho часто используется в странах Европы. При использовании этих схем эффективно фильтруются соединения фосфора и азота на низконагруженных очистительных сооружениях.

3. В 1976 г. Barnard открыл модификационную форму Bardenpho, дополнительно добавив анаэробную стадию с коротким периодом пребывания сточных вод и назвал ее Phoredox процесс. При использовании такой схемы удаление общего фосфора достигается до 95 %.

4. Ученые Университета Кейптауна разработали UCT-процесс. При использовании такой схемы показатели БПК достигают 95 %, общего фосфора – 70 %, общего азота – 80 %.

5. В развитых странах Европы оксидационные каналы применяются широко. При использовании этой технологии с помощью аэраторов сточные воды приводятся по кругу.

Следует отметить, что для качественного обеспечения глубокого изъятия из загрязненных вод биогенных элементов обычно рекомендуется традиционная схема методов биологической очистки. В этом случае для приготовления и подачи растворов реагента используется реагентное хозяйство-емкости. Разные соединения алюминия и железа применяются в качестве реагента [28].

Одним из эффективных методов удаления биогенных элементов в различных сточных водах считается применение высших водных растений для доочистки загрязненных вод. Такой метод очистки основан на процессах природного самоочищения. В настоящее время доказано, что в эвтрофных водоемах, обычно загрязняемых фосфор- и азотсодержащими веществами, появляются естественные формы защиты от перегрузки по биогенным веществам [29, 30].

В последние годы во многих научно-исследовательских учреждениях проводились научно-экспериментальные исследования, которые доказали возможность применения водных макрофитов для очистки коммунально-бытовых, сельскохозяйственных, промышленных сточных вод и сточных вод животноводческих комплексов и птицефабрик [31].

Одно из основных положительных качеств водных макрофитов заключается в извлечении из загрязненных вод тяжелых металлов (свинец, кадмий, цинк,медь), сульфатов, фенолов, биогенных элементов (калий, магний, азот, кальций, фосфор, серу, марганец) и снижении загрязненности естественных вод синтетическими поверхностно активными веществами, нефтепродуктами. Это позволит применять их в практике биологической очистки различных сточных вод во многих странах мира. Ученые из Австралии спроектировали технологии очистки поверхностного стока автомагистралей. При строительстве автомагистралей дороги не обустраиваются бордюрами, фильтрационными траншеями осуществляется сбор загрязненных вод [32].

Выводы

1. Анализ литературных данных показывает, что основные вопросы теоретического решения биологической очистки загрязненных вод на основе доказанных фундаментальных законов с применением математического анализа практически не рассматриваются.

2. Для повышения эффективности удаления биогенных элементов новые технологии рекомендуют интенсификацию биологической очистки загрязненных вод.

3. Применение водных растений для доочистки загрязненных вод ограничено периодом их вегетации и климатическими условиями местности.

Список литературы

1. Зайцева И.С., Зайцева Н.А., Воронина А.С. Методы интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках // Вестник Кузбасского государственного университета. 2010. № 1. С. 90–91.

2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской федерации в 2009 году». М.: НИА-Природа, 2009. 457 с.

3. Раимбеков К.Т. Биологическая очистка сточных вод свинокомплекса // Наука и новые технологии. 2009. № 10. С. 33–35.

4. Токоев А.А. Биологическая очистка сточных вод городского очистительного сооружения: автореф. дис. … канд. биол. наук. Ош, 2014. 22 с.

5. Репин Б.Н., Русина О.Н., Афанасьева А.Ф. Биологические пруды для очистки сточных вод пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1999. 207 с.

6. Альмунейфи А.Н. Очистка сточных вод в биологических прудах в условиях Йемена: автореф. дис. … канд. техн. наук. Москва, 1999. 24 с.

7. Субботина Ю.М. Эколого-социальные аспекты использования и охраны водных ресурсов // Междисциплинарный научно-практический журнал. Социальная политика и социология. 2012. № 5 (83). С. 166–176.

8. Горбунова С.Ю., Жондарева Я.Д. Об эффективности использования микроводорослей в промышленной биотехнологии с целью мелиорации водной среды и получения кормов для различных отраслей сельского хозяйства // Современные рыболохозяйственные и экологические проблемы. Азовско-Черноморского региона. 2012. Т. 2. С. 114–119.

9. Субботина Ю.М., Львов Ю.Б. Учение о биосфере: учебное пособие. М.: Издательство РГСУ, 2010. 116 с.

10. Tanntr W., Reid P.E. Abvancess in aeration. El. Source. [Electronic resource]. URL: http: //www. Reidengineering. Com / wp-content / uploads / 2012.05 / Aeration-Presentation-Reid 2013. Pdf (date of access: 21.01.2020).

11. Онищенко Г.Г., Кармазинов Ф.В., Кирилов В.В. и др. Системный бенчмаркинг канализования, комплексная оценка и обеспечение безопасности водных источников. СПб.: новый журнал, 2011. Т. 1. С. 12–17.

12. Игнатенко А.В. Биосорбционно-биокоагуляционная детоксикация сточных вод микроорганизмами активного ила // Труды БГТУ: химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2015. № 2. С. 262–266.

13. Исраилова Г.С. Альгофлора коллекторно-дренажных сетей Ошской области: автореф. дис. … канд. биол. наук. Бишкек, 2012. 22 с.

14. Чепинога В.В., Дементьева М.К., Лиштва А.В. Флористические находки в бассейне верхнего течения реки Лены // Известия Иркутского государственного университета: серия «Биология, экология». 2013. № 1. С. 102–109.

15. Субботина Ю.М., Смирнова И.Р., Кутковский К.А. Теоретические и методологические подходы к очистке сточных вод компонентами водной экосистемы // Вестник Алтайского государственного университета. 2015. № 5. С. 99–106.

16. Сазановец М.А., Игнатенко А.В. Анализ детокцикации водных сред методом биотестировании // Труды БГТУ: химия, технология органических веществ и биотехнология. 2014. № 4. С. 179–182.

17. Сошенко М.В., Донцова О.С. Современные проблемы очистки сточных вод текстильных предприятий первичной обработки шерсти // Вопросы охраны труда и окружающей среды: сб. студенческой статей. М.: Издательство ФРСУ, 2011. 315 с.

18. Чачина С.В., Таранникова О.А. Использование биотехнологических методов доочистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8–3. С. 22–23.

19. Абдукадырова М.Н. О возможностях интенсификации биологической очистки стоков в г. Ташкенте // Universum: технические науки. 2018. № 5 (50). С. 62–65.

20. Раимбеков К.Т. Изучение химического состава биомассы эйхорнии отличной до и после термической обработки // Известия вузов (Кыргызстан). 2010. № 7. С. 14–16.

21. Зайнутдинова Э.М., Ягяфорова Г.Г. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием водных растений // Башкирский химический журнал. 2013. № 3 (20). С. 150–152.

22. Чачина С.Б., Гостева А.Н. Использование высших водных растений для доочистки канализационных сточных вод АОА «Омскводоконал» // Омский научный вестник. 2012. № 2 (114). С. 203–207.

23. Раимбеков К.Т.Влияние биомассы эйхорнии отличной на организм животных // Известия ВУЗов (Кыргызстан). 2010. № 7. С. 11–13.

24. Созник А.П., Горносталь С.А. Анализ работы аэротенков и пути повышения качества очистки сточных вод // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2010. № 1. С. 305–307.

25. Арафьева О.А. Воздействие магнитного поля на процессы извлечения тяжелых металлов ряской // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2010. № 8 (53). С. 81–87.

26. Карагандина М.Н., Миштa В.П., Шайхиев И.Г. Особенности очистки сточных вод от нефтепродуктов // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 5 (18). С. 255–257.

27. Долганова О.А. Разработка технологии очистки сточной воды на сооружении типа биоплато // Мир современной науки. 2017. № 3 (43). С. 14–17.

28. Борисова С.Д. Доочистка сточных вод химического предприятия от неорганических веществ с использованием элодеи и роголистика: дис. … канд. техн. наук. Казань, 2011. 155 с.

29. Раимбеков К.Т. Воздействия додецилсульфата натрия на водный макрофит Eichhornia crassipes Solms // Наука. Образования. Техника. 2016. № 3–4 (57). С. 38–42.

30. Раимбеков К.Т. Определение предельно возможных нагрузок веществ, загрязняющих биосистему с высшими водными растениями // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 5. С. 45–51.

31. Голованов Я.М., Абрамова Л.М., Мулдашев А.А. Натурализация инвазионого вида Elodea Canadensis Michx. В водоемах Республики Башкортостан // Российский журнал биологических инвазий. 2016. № 2. С. 7–21.

32. Раимбеков К.Т. Исследования биоэффекты воздействия однократных добавок додецильсульфата натрия на Lemna minor // Наука. Образования. Техника. 2016. № 3–4 (57). С. 42–45.

СТАТЬИ

УДК 613.2.099:616-085(470.345)

КАЧЕСТВЕННАЯ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЛУЧАЕВ ОСТРЫХ ОТРАВЛЕНИЙ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИХ ТЕРАПИИ В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ

Малкина Н.В., Струлькова С.Ю., Болванович А.Е., Хлопьева Т.А.

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: Nat-Mal2008@yandex.ru

В статье рассматриваются этиологические факторы, клинико-диагностические характеристики и особенности терапии острых отравлений. В процессе экспериментального исследования (проведен контент-анализ историй болезни) выявлены основные причины отравлений и летальных исходов. В работе дана характеристика структуры и динамики острых отравлений, особенностей интенсивной терапии (специфической, неспецифической детоксикации и симптоматической терапии), представлены новые методы диагностики и лечения. Степень тяжести острых отравлений во многом зависит от токсической дозы вещества. Они всегда требуют оказания неотложной медицинской помощи. Эффективность терапии и исход отравлений во многом зависят от своевременно начатого лечения, его объема и строгой преемственности по выполнению лечебных действий на месте поражения на этапах эвакуации. Нашими исследованиями подтверждено, что в настоящее время для оказания неотложной помощи при острых отравлениях требуется одновременное, сочетанное, последовательное проведение мероприятий интенсивной терапии: предотвращение поступления яда в организм, ускоренное выведение токсических веществ, применение антидотной фармакотерапии (активной детоксикации); применение симптоматических средств, восстановление кислотно-щелочного равновесия, нормализация обмена веществ. С целью повышения качества оказания специализированной медицинской помощи пациентам с острыми отравлениями применяются современные методы терапии. И предлагается рассмотреть вопрос о создании токсикологических отделений в лечебных учреждениях областного и республиканского уровней.

Ключевые слова: острые отравления, специализированная помощь, интенсивная терапия, антидотная фармакотерапия, дезинтоксикация

QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF ACUTE POISONING CASES AND SOME FEATURES OF THEIR TREATMENT IN THE REPUBLIC OF MORDOVIA

Malkina N.V., Strulkova S.Yu., Bolvanovich A.E., Khlopeva T.A.

Mordovian State University n.a. N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: Nat-Mal2008@yandex.ru

The article deals with etiological factors, clinical and diagnostic characteristics and peculiarities of acute poisoning therapy. During the pilot study (content analysis of medical histories was carried out), the main causes of poisoning and deaths were identified. The work describes the structure and dynamics of acute poisoning, features of intensive therapy (specific, non-specific detoxification and symptom therapy), new methods of diagnosis and treatment are presented. The severity of acute poisoning depends largely on the toxic dose of the substance. They always require emergency medical care. The effectiveness of the therapy and the outcome of the poisoning largely depend on the timely treatment, its volume and strict continuity in the execution of treatment actions at the site of the injury at the evacuation stages. Our studies have confirmed that at present urgent care for acute poisoning requires simultaneous, combined, consistent intensive care measures: prevention of poison entry into the body, accelerated release of toxic substances, use of antidote pharmacotherapy (active detoxification), application of symptoms means, restoration of acid-alkaline equilibrium, normalization of metabolism. In order to improve the quality of specialized medical care for patients with acute poisoning, it is proposed to consider the establishment of toxicological departments in medical institutions at the regional and national levels.

Keywords: acute poisoning, specialized care, intensive therapy, antidote pharmacotherapy, detoxification

В результате технического прогресса и развития химической индустрии в мире происходит накопление разнообразных химических веществ. Большинство из них (около 100 тысяч разновидностей) используются в промышленности, в сельском хозяйстве, в быту и в виде пестицидов, пищевых примесей, лечебных и косметических средств и др. Следствием катастроф, аварий, несчастных случаев, нарушения техники безопасности, ошибочных действий людей происходят отравления, количество которых с каждым годом увеличивается. По данным S. Khosya, 2012 возрастает и число летальных исходов по причине отравлений [1].

Нередко здоровье людей может пострадать и по вине недобросовестных предпринимателей, занимающихся производством и продажей поддельных лекарственных средств, некачественного алкоголя, запрещенных психотропных средств (новых де-

шевых и очень опасных видов наркотиков), просроченных продуктов и т.д. [1, 2].

По статистике приблизительно 94–96% всего населения хотя бы один раз в жизни подвергались действию отравляющих веществ, результатом которых являлось развитие отравлений. Среди всех несчастных случаев отравления занимают третье место, уступая ожогам и травматическим повреждениям.

Наибольшую актуальность данной проблеме придает наблюдающийся год за годом рост числа отравлений с летальным исходом от приема алкоголя, наркотических средств, отравления угарным газом, уксусной кислотой и др. [3].

Острые отравления во многом зависят от токсической дозы вещества и характеризуются острым началом. Они всегда требуют оказания неотложной медицинской помощи. Эффективность терапии и исход отравлений во многом зависят от своевременно начатого лечения, его объема и строгой преемственности на различных уровнях симптоматической и детоксикационной терапии [4].

Диагноз острых отравлений основывается на анамнестических, клинико-лабораторных данных и на результатах специальных токсикологических исследований.

Имеет значение осмотр места происшествия, сбор анамнеза пациента и опроса лиц, доставивших пострадавшего и даже возможного исследования одежды пострадавшего, на которой могут быть обнаружены следы отравляющих веществ.

Особенность неотложной помощи при острых отравлениях заключается в сочетанном и одновременном проведении следующих лечебных мероприятий интенсивной терапии: прекращения поступления яда в организм; ускорения выведения токсических веществ; применения специфической (антидотной) фармакотерапии (методы активной детоксикации) [4, 5]; симптоматической терапии, направленной на профилактику синдромов характерных для клинической картины острых отравлений (судорожного, гипертермического, гипертензивного и др.) [6, 7].

Цель исследования: изучение клинико-диагностических характеристик отравлений и выявление основных этиологических факторов острых отравлений и их лечение на базе ГБУЗ РМ РКБ № 3 и способов их терапии.

Материалы и методы исследования: оригинальное клинико-статистическое исследование (без контакта с пациентами) посредством работы с документацией (истории болезни) отделения анестезиологии и реанимации на базе ГБУЗ РМ РКБ № 3 за период с января 2014 г. по октябрь 2017 г.; клинические рекомендации; данные интернет-ресурсов.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе экспериментального исследования были изучены основные причины отравлений, их количественная динамика, а также число летальных исходов для каждой нозологической единицы (табл. 1). Изучены методы и результативность терапии острых отравлений.

Наиболее частыми причинами острых отравлений являются неправильное использование медикаментов, злоупотребление алкоголем, случаи попадания в организм кислот и отравления неизвестными веществами. В результате наших исследований выявлено, что частота встречаемости пищевых отравлений за последние четыре года снижена до минимума.

Определена частота случаев летальных исходов от острых отравлений на долю всех случаев госпитализированных пациентов (табл. 2).

По данным таблицы видно, что с каждым годом доля летальных исходов на все случаи острых отравлений возрастает. Пик роста приходится на 2017 г.

Максимальный процент среди всех острых отравлений занимают отравления кислотами, что к 2016 г. составило 31,3%, по сравнению с 2014 г. – 10,5% и в 2017 г. – 7,4%.

Некоторые особенности терапии острых отравлений

В клинических учреждениях Республики Мордовия активно внедряются современные методы лечения. В токсикогенной стадии острых отравлений применяются методы ранней детоксикации с учетом токсико-кинетических особенностей яда, возможности возникновения тяжёлых расстройств системного и органного кровообращения, а также нарушения микроциркуляции и развития экзотоксического шока. Для повышения эффективности лечения отравлений в токсикогенной стадии применяется форсированный диурез в последовательном сочетании с экстракорпоральной оксигенацией крови и сорбционной детоксикацией [5].

В соматогенной фазе острых отравлений лечебная тактика обязательно осуществляется с проведением неспецифической интенсивной терапии, направленной на коррекцию развившихся нарушений гомеостаза, при учете токсико-динамических осо-

бенностей яда. Видное место в комплексе проводимых лечебных мероприятий часто занимают методы поздней детоксикации, направленной на борьбу с эндогенным токсикозом при развивающейся недостаточности функции печени, тяжелой гипоксии и инфекционных осложнениях (пневмония, сепсис) [4, 6]. Учёт избирательной токсичности химических соединений позволяет прогнозировать развитие указанных осложнений и применять соответствующие способы их профилактики [1]. Перспективно в этом отношении совершенствование методов постоянного мониторного наблюдения тяжелобольных с момента их поступления до выхода из критического состояния. По показаниям осуществляется постоянная регистрация частоты пульса, дыхания, ЭЭГ, ЭКГ, а также мониторинг АД и основных параметров биохимического гомеостаза (парциального давления кислорода, pH крови, содержания в ней белков, гормонов и др.) [6, 7]. Это открывает возможность использования компьютерных технологий для автоматической коррекции развивающихся расстройств.

Заключение

Наиболее частыми причинами острых отравлений в РМ явились неправильное применение медикаментов, злоупотребление алкоголем, случаи попадания в организм кислот и действия неизвестных веществ. Процент смертельных исходов по отравлениям алкоголем и неизвестными веществами достигал своего максимального развития в 2017 г. Максимальная летальность среди всех исследуемых этиологических факторов острых отравлений наблюдалась среди отравлений кислотами в 2016 г.

Таблица 1

Общие данные

Этиология	2014		2015		2016		2017 (10 месяцев)	
	всего	летальных исходов	всего	летальных исходов	всего	летальных исходов	всего	летальных исходов
Медикаменты (T36-T51)	64	0	61	4	54	3	40	0
Алкоголь (T51-T52)	178	13	133	15	141	28	83	19
Органические растворители (T52-T54)	16	0	11	1	0	0	1	0
Кислоты (T54-T58)	38	4	24	4	32	10	27	2
Газы (T58-T61)	20	0	9	1	11	1	14	0
Пищевые отравления (T61-T62)	0	0	0	0	0	0	0	0
Грибы (T62-T63)	4	0	5	0	12	0	8	0
Укусы змей (T63-T65)	0	0	6	0	10	0	12	0
Неизвестное вещество (T65-T66)	97	2	143	7	140	17	105	17
Всего случаев (T36-T66)	403	19	393	32	409	59	290	38

Таблица 2

Процент летальности от острых отравлений в целом

	2014	2015	2016	2017 (10 месяцев)
% Летальность при острых отравлениях	4,7%	8,1%	14,5%	13,2%

Таблица 3

Процент летальности при наиболее распространенных видах острых отравлений

Этиология	2014	2015	2016	2017 (10 месяцев)
Алкоголь (T51-T52)	7,3%	11,2%	20%	22,7%
Кислоты (T54-T58)	10,5%	16,6%	31,3%	7,4%
Неизвестное вещество (T65-T66)	2,1%	4,9%	12,2%	16,1%
Медикаменты (T36-T51)	0%	6,5%	5,6%	0%

Данное клинико-статистическое исследование необходимо продолжить для изучения не только структуры острых отравлений, особенностей интенсивной терапии (специфической (антидотной), неспецифической детоксикации и симптоматической терапии), но и для разработки новых современных методов диагностики и лечения острых отравлений.

Для повышения качества оказания специализированной медицинской помощи пациентам с острыми отравлениями имеется необходимость в создании токсикологических отделений в лечебных учреждениях.

Перспективы исследования проблемы отравлений могут быть использованы для проведения дальнейших клинико-диагностических исследований в области токсикологии.

Список литературы

1. Khosya S. Current Trends of Poisoning in a Therapy Care Hospital. LAP Lambert Academic Publishing. 2012. P. 80.

2. Nesi Tom. Poison Pills: The Untold Story of the Vioxx drug Scandal. 2008. P. 320.

3. Shibamoto Takayuki. Introduction to Food Toxicology. 2010. P. 320.

4. Лужников Е.А. Первая неотложная помощь при острых отравлениях // Произвоств. практическое руководство. 2009. С. 144.

5. Wexler Philip. Encyclopedia of Toxicology. Encyclopedic dictionary. 2015. P. 5220.

6. Лужников Е.А. Неотложная терапия острых отравлений и эндотоксикозов // Справочник. Медицинское информационное агентство. 2010. С. 472.

7. Остапенко Ю.Н. Токсическое действие алкоголя // Федеральные клинические рекомендации. М., 2013. С. 50.

8. Афанасьев В.В. Неотложная токсикология // Руководство. ГЭОТАР-Медиа. 2010. С. 384.

9. Кукин П.П. Основы токсикологии: учебное пособие. М.: Инфра-М, 2016. С. 280.

10. Jardin Sergei. Alcohol consumption in Russia 1970–2014. LAP Lambert Academic Publishing. 2014. P. 68.

УДК 613.6

АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ С ВРЕМЕННОЙ УТРАТОЙ ТРУДОСПОСОБНОСТИ РАБОТНИКОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ АО «KEGOC»

Машина Т.Ф., Калишев М.Г., Жумалиев Б.С., Абитаев Д.С., Шайхина Ж.К., Ердесов Н.Ж.

НАО «Медицинский университет Караганды», Караганда, e-mail: info@kgmu.kz

В статье представлены данные о заболеваемости с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) у обслуживающего персонала АО «KEGOC» за 2010–2014 гг. Проведен сравнительный анализ заболеваемости с ВУТ работников контрольной группы (ИТР) в количестве 121 чел. между профессиональной группой по обслуживанию подстанций (электромонтеры) в количестве 166 чел., в зависимости от возраста рабочих и их профессионального стажа. Анализ заболеваемости с ВУТ работников между профессиональной группой и работниками ИТР в стажевом аспекте показал, что высокая заболеваемость с ВУТ выявлена в профессиональной группе (31–35 лет стажа) – 180 случаев на 100 работающих. В возрастной группе предпенсионного возраста (50–59 лет) профессиональной когорты электромонтеров по обслуживанию подстанций, возрастала заболеваемость с временной утратой трудоспособности до уровня выше среднего, что составила 80 случаев на 100 работающих, имела тенденцию к снижению трудоспособности и выходу работников на пенсию по выслуге лет. По структуре заболеваемости по классам болезней в группе ИТР первое ранговое место занимали болезни органов дыхания, удельный вес которых в среднем составлял 38,2%; второе место занимали болезни костно-мышечной системы с удельным весом 14,1%; третье место заняли болезни системы кровообращения, удельный вес которых составил 11,4%. Болезни органов пищеварения находились на четвертом месте с удельным весом 9,7%, пятое ранговое место занимали травмы и отравления с удельным весом 6,9%.

Ключевые слова: ЗВУТ, структура заболеваемости, ИТР, электромонтеры, стаж, возраст

ANALYSIS OF MORBIDWITH THE TIME LOSS OF WORKINGCAPACITY OF EMPLOYEES OF ENERGYNDUSTRY «KEGOC» JSC

Mashina T.F., Kalishev M.G., Zhumaliev B.S., Abitaev D.S., Shaykhina Sh.K., Erdesov N.Zh.

Non-Commercial Joint-Stock Company «Medical University of Karaganda», Karaganda, e-mail: info@kgmu.kz

The article presents the data on the incidence of temporary disability (STD) in the service personnel of JSC «KEGOC» for 2010-2014. A comparative analysis of the incidence of VUT employees of the control professional group (ITR) in the number of 121 people between the professional group for substation maintenance (electricians) in the number of 166 people, depending on the age of workers and their professional experience. The analysis of incidence with VUT of workers between professional group and workers of ITR in the probationary aspect showed that high incidence with VUT is revealed in professional group (31-35 years of experience) – 180 cases on 100 workers. In the age group of pre-retirement age (50-59 years) of the professional cohort of electricians servicing substations, the incidence of temporary disability increased to a level above the average, which amounted to 80 cases per 100 employees, tended to reduce the working capacity and retirement of employees on superannuation. According to the structure of morbidity by class of diseases in the ITR group, the first rank was occupied by respiratory diseases, whose share on average was 38.2%; the second place was occupied by diseases of the musculoskeletal system with a specific weight of 14.1%; the third place was occupied by diseases of the circulatory system, whose share was 11.4%. Diseases of the digestive system were in fourth place with a specific weight of 9.7%, the fifth rank was occupied by injuries and poisoning with a specific weight of 6.9%.

Keywords: SWOT, structure of morbidity, engineers, electricians, experience, age

В Казахстане заболеваемость с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) занимает особое место в статистике заболеваемости в связи с высокой ее экономической значимостью [1, с. 18].

Изучение заболеваемости с временной утратой трудоспособности [2, с. 65], как одного из критериев состояния здоровья рабочих промышленных предприятий, позволяет установить взаимосвязь между ее уровнем и конкретными производственными факторами, определить экономический ущерб предприятий вследствие заболеваемости и разработать мероприятия по ее снижению [3, с. 4].

Проблемы здоровья населения следует отнести к глобальным, связанным с национальной безопасностью государства. Интересы национальной безопасности РК диктуют необходимость сокращения прямых и косвенных потерь общества за счет снижения заболеваемости, инвалидности,

смертности прежде всего в трудоспособном возрасте [4, с. 15]. Профессиональная деятельность в условиях воздействия производственных факторов [5, с. 75] приводит к нарушениям состояния здоровья работающих, проявляющимся в повышении уровня заболеваемости с временной утратой трудоспособности [6, с. 195].

Цель исследования: изучить уровень заболеваемости с ВУТ у работников энергетической промышленности АО «KEGOC».

Материалы и методы исследования

Проведен сравнительный анализ заболеваемости с ВУТ работников, в зависимости от возраста рабочих и их профессионального стажа, между контрольной профессиональной группой (ИТР) в количестве 121 чел. и профессиональной группой по обслуживанию подстанций (электромонтеры) в количестве 166 чел.

В группу ИТР были включены инженерно-технические работники (инженеры, специалисты, диспетчеры, начальники подстанции, начальники службы, мастера по обслуживанию и ремонту) – специалисты, занимающиеся организацией и осуществляющие руководство над производственными процессами, включенных в поточную линию. В профессиональную группу включены электромонтеры, работа которых связана с обслуживанием силовых, осветительных установок, электрооборудования, схем машин и агрегатов.

Возрастная структура исследуемых работников была представлена пятью группами, по профессиональному стажу разделена на 8 групп, проведенный углубленный анализ ЗВУТ по методике полицевого учета на 100 круглогодовых работников позволил определить основные показатели: число случаев и дней нетрудоспособности, индекс здоровья, а также показатели, характеризующие структуру заболеваемости по классам болезней с учетом номенклатуры МКБ.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ заболеваемости за 5 лет в профессиональной группе АО «KEGOC» по классам МКБ показал, что наиболее высокий уровень заболеваемости имел класс болезней органов дыхания, в основном представлен ОРЗ, который в среднем составил – 34,7%, далее следовал класс болезней костно-мышечной системы – 13,5%, следующее ранговое место занимал класс системы кровообращения – 12%, следующее место занимали травмы, что составило 7,7%, болезни органов пищеварения – 7,6% соответственно.

В таблице представлена структура заболеваемости по классам болезней в группе ИТР, в которой первое ранговое место занимали болезни органов дыхания, удельный вес которых в среднем составлял 38,2%; второе место занимали болезни костно-мышечной системы с удельным весом 14,1%; третье место заняли болезни системы кровообращения, удельный вес которых составил 11,4%. Болезни органов пищеварения находились на четвертом месте с удельным весом 9,7%, пятое ранговое место занимали травмы и отравления с удельным весом 6,9%.

При проведении анализа динамики роста заболеваемости в течение 5 лет, наиболее частыми (рис. 1) являются случаи по поводу болезней органов дыхания в 2010 г., которые составили 8,1 количество случаев, однако с 2011 по 2013 гг., отмечалось снижение заболеваемости в 1,5 раза, но в 2014 г. вновь отмечается резкий скачок данной заболеваемости, что составило 7,0 случаев на 100 работающих. Уровень распространенности болезней костно-мышечной системы за исследуемый период имел волнообразный характер, наиболее часто встречались случаи в 2011 г., которые составили 4,0 на 100 работающих. В 2010 г. было зарегистрировано наименьшее количество 0,9 случаев.

Структура заболеваемости группы ИТР работников энергетической промышленности АО «KEGOC» за 2010–2014 гг.

Класс болезней	Среднее М	нижний ДИ	верхний ДИ	Удельный вес%
Болезни системы кровообращения	5,0 ± 0,9	2,6	7,5	11,4
Болезни органов дыхания	16,9 ± 1,6	12,4	21,5	38,2
Болезни органов пищеварения	4,3 ± 0,6	2,6	6,0	9,7
Болезни кожи и подкожной клетчатки	1,1 ± 0,5	-0,2	2,4	2,5
Болезни костно-мышечной системы	6,3 ± 1,5	2,1	10,4	14,1
Болезни мочеполовой системы	2,6 ± 0,7	0,7	4,5	5,9
Травмы и отравления	3,1 ± 0,7	1,1	5,1	6,9

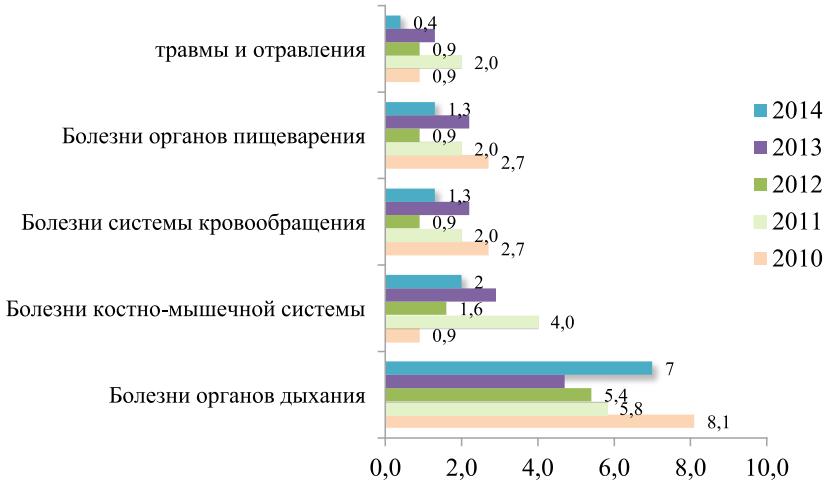


Рис. 1. Динамика роста заболеваний лидирующих классов группы ИТР АО «KEGOC» за 2010–2014 гг.

В профессиональной группе по случаям ЗВУТ на 100 работающих, наибольшее количество случаев зарегистрировано по классу болезней органов дыхания, что составило 19,4 ± 1,6 случая, далее следовали болезни костно-мышечной системы 7,6 ± 1,1 случая, системы кровообращения составляли 6,8 ± 1,3 случаев, болезни органов пищеварения 4,4 ± 0,6 случая, травмы – 4,2 ± 1,0 случая и болезни мочеполовой системы 3,0 ± 0,7.

По количеству дней ЗВУТ на 100 работающих наибольшее количество дней нетрудоспособности наблюдалось по классу болезней системы кровообращения 78,1 ± 10,7 дней, далее наблюдались по количеству дней заболевания костно-мышечной системы, что составило 67,3 ± 10,5, травмы составили 48,6 ± 12,4 дня, следующими по ранжированию были болезни органов пищеварения 41,8 ± 4,7 дней.

В интенсивных показателях профессиональной группы (электромонтеры), высокий уровень заболеваемости с ВУТ наблюдался в четвертой возрастной группе (50–59 лет) 80 случаев на 100 работающих, по шкале оценки показателей заболеваемости с ВУТ по Е.Л. Ноткину [7, с. 40] данный уровень оценивается как средний (рис. 2).

Низкий показатель зарегистрирован в первой возрастной группе электромонтеров (до 29 лет) – 15,6 случаев на 100 работающих (очень низкий уровень) с относительно высоким индексом здоровья в 55,6 %.

Во второй и третьей возрастных группах (электромонтеров) уровни заболеваемости с ВУТ были равными 55 и 48,6 случаев на 100 работающих (низкие уровни). Хотя индексы здоровья в данных возрастных группах (37,5 и 14,3 %) были ниже, чем в первой и пятых группах.

В пятой возрастной группе данной профессии отмечался низкий уровень заболеваемости (33,3 случаев на 100 работающих), 80 % случаев болезни с ВУТ из группы лиц 60 лет и старше. В возрастной группе (электромонтеров) 50–59 лет отмечался самый низкий индекс здоровья, что при несвоевременном проведении реабилитационных мероприятий переводит заболевания в хронические.

В показателях группы ИТР высокий уровень заболеваемости с ВУТ наблюдался в пятой возрастной группе (60 и более лет) 88 случаев на 100 работающих, по шкале оценки показателей заболеваемости с ВУТ данный уровень оценивается как средний.

Низкий уровень заболеваемости выявлен в возрастной группе ИТР 30–39 лет, самый высокий уровень заболеваемости с ВУТ был в пятой группе (60 и более лет), что оценивалось как средний уровень.

В третьей и четвертой возрастных группах ИТР уровни заболеваемости с ВУТ были равными 53,7 и 50,9 случаев на 100 работающих (низкие уровни). Индексы здоровья в данных возрастных группах (42,85 и 51,51 %) были выше, чем в первой и пятой группах.

В ходе сравнительного анализа стажевой профессиональной группы (электромонтеры) было выявлено, что самая высокая заболеваемость с ВУТ выявлена в седьмой группе (31–35 лет профессионального стажа) – 180 случаев на 100 работающих очень высокий уровень заболеваемости (рис. 3).

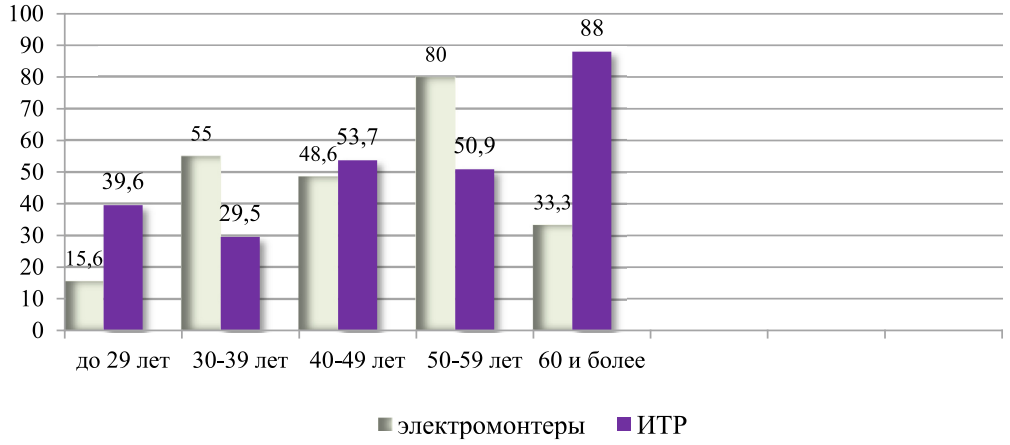


Рис. 2. Сравнительный анализ случаев ЗВУТ между профессиональной группой и контрольной группой (ИТР) в зависимости от возраста

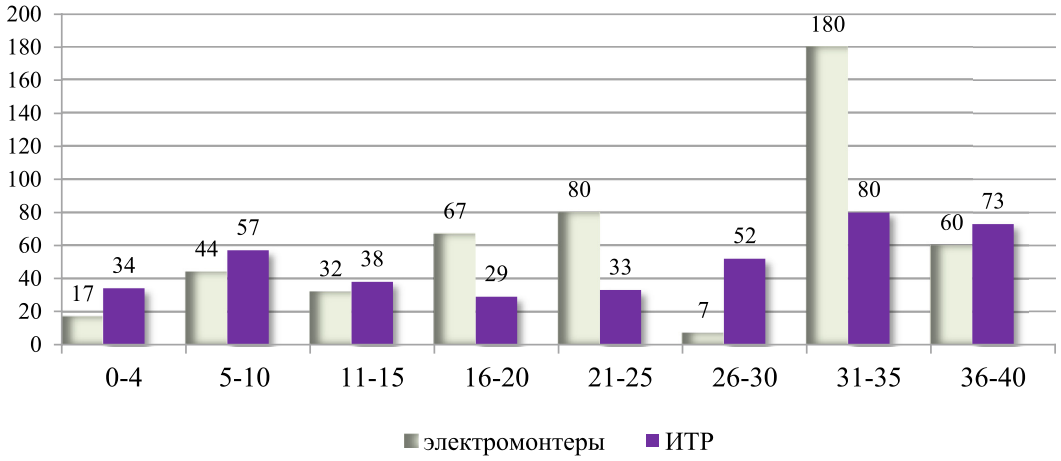


Рис. 3. Сравнительный анализ случаев ЗВУТ между профессиональной группой и контрольной группой (ИТР) в зависимости от стажа работы

Низкие уровни заболеваемости выявлены в первой группе (0–4 года профессионального стажа) – 16,9 случаев на 100 работающих с индексом здоровья 61,5 % и в шестой группе (26–30 лет стажа) – 6,7 случаев на 100 работающих с индексом здоровья 66,7 %.

Средний уровень заболеваемости с ВУТ выявлен в пятой профессиональной группе (21–25 лет стажа) – 80 случаев на 100 работающих, хотя индекс здоровья в данной возрастной группе был не низким – 66,7 %. Уровень заболеваемости ниже среднего был определен в четвертой (16–20 лет стажа) и восьмой (36–40 лет стажа) группах – 66,7 и 60 случаев на 100 работающих без здоровых лиц в данных возрастных группах.

Во второй (5–10 лет стажа) и в третьей (11–15 лет стажа) группах зарегистрированы очень низкие уровни заболеваемости – 44 и 32 случая на 100 работающих соответственно с индексом здоровья по 20 %.

В ходе анализа в стажевой группе (ИТР), высокая заболеваемость с ВУТ выявлена в седьмой группе (31–35 лет профессионального стажа) – 80 случаев на 100 работающих (средний уровень заболеваемости), среди работников этой высокостажированной группы 50 % было здоровых лиц.

Самые низкие уровни заболеваемости выявлены в пятой группе (21 – 25 лет стажа) – 32,7 случаев на 100 работающих с индексом здоровья 45,5 %, в первой группе (0–4 года) – 33,8 случаев на 100 работающих с индексом здоровья 29,3 % и в третьей группе 37,9 случаев на 100 работающих с индексом здоровья 50 %.

Низкий уровень заболеваемости с ВУТ выявлен в четвертой стажевой группе (16–20 лет стажа) – 28,8 случаев с индексом здо-

ровья 56%, в восьмой профессиональной группе (36–40 лет стажа) – 57,1 с индексом здоровья 23,8% и в шестой группе (26–30 лет стажа) – 52,5 на 100 работающих, хотя индекс здоровья в данной возрастной группе был не низким – 62,5%.

Уровень заболеваемости ниже среднего был определен в восьмой группе ИТР (36–40 лет стажа) – 73,3 случаев на 100 работающих с индексом здоровья 16,7%. Самые низкие уровни заболеваемости были выявлены в стажированных группах (ИТР) с 16 по 20 лет, где ИЗ составил 56% соответственно.

Исследованиями было положено начало изучения заболеваемости рабочих, в которых обращалось внимание на необходимость комплексного подхода к изучению заболеваемости с учетом условий труда работающих.

Выводы

1. Выделена ведущая стажевая группа, с высоким уровнем заболеваемости с ВУТ в группе электромонтеров (31–35 лет профессионального стажа), что составило 180 случаев на 100 работающих.

2. Индекс здоровья был выше в условно-контрольной группе, чем в профессиональной группе электромонтеров, а также с увеличением стажа в данной группе уровень заболеваемости имел тенденцию роста.

3. Для комплексной оценки анализа заболеваемости у работников АО «KEGOC», необходимо участие врача-профпатолога в проведении периодических медицинских осмотров.

Список литературы

1. Амреева Л.М. Эпидемиологический анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности рабочих промышленного предприятия // Наука и образование – 2014: сборник материалов с конференции. 2014. С. 15–20.

2. Хакимова Д.С., Эргашева В.Ш., Махмудалиева Ч.Г., Рузимова О.О., Эшмуродов Ш.Д. Оценка состояния заболеваемости рабочих производственных объектов с временной утратой трудоспособности // Молодой ученый. 2019. № 25. С. 66–69. [Электронный ресурс]. URL https://moluch.ru/archive/263/61064/ (дата обращения: 22.01.2020).

3. Измеров Н.Ф., Бухтияров И.В., Прокопенко Л.В., Шиган Е.Е. Реализация глобального плана действий ВОЗ по охране здоровья работающих в Российской Федерации // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 9. С. 4–8.

4. Страшникова Т.Н. Анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности работников основных профессиональных групп горнорудного предприятия // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 15–19.

5. Шамсияров Н.Н., Галиуллин А.Н. Клинико-статистический анализ заболеваемости с временной утратой трудоспособности экономически активного населения города Казани // Вестник современной клинической медицины. 2015. Т. 8. № 2. С. 74–79.

6. Юсупова В.К., Курбанова Ш.И. Анализ заболеваемости работающих с временной утратой трудоспособности // Молодой ученый. 2016. № 11. С. 195–198.

7. Ноткин Е.Л. Об углубленном анализе данных заболеваемости с временной нетрудоспособностью // Гигиена и санитария. 1979. № 5. С. 40–46.

УДК 615.012.1

АНАЛИЗ КОНЪЮНКТУРЫ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО РЫНКА КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ НПВП – ПРОИЗВОДНЫХ ПРОПИОНОВОЙ КИСЛОТЫ

Эрмекова Д.У.

Институт химии и фитотехнологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, e-mail: dinaermekova.de@gmail.com

В статье представлены результаты анализа конъюнктуры фармацевтического рынка НПВП группы производных пропионовой кислоты в Кыргызской Республике. Результаты исследования показали, что на фармацевтическом рынке Кыргызстана присутствуют 156 торговых наименований НПВП группы производных пропионовой кислоты, наибольшую часть ассортимента составляют препараты ибупрофена (M01AE01), представленные 66 торговыми наименованиями ЛС (42,3%), и кетопрофена (M01AE03), представленные 57 торговыми наименованиями ЛС (36,5%). Отмечено, что среди производителей, поставляющих НПВП в Кыргызстан, 81,41% составляют страны дальнего зарубежья, среди которых лидирует Турция 18,6%. Анализ ассортимента по странам-производителям показал, что в Департаменте лекарственного обеспечения и медицинской техники Министерство здравоохранения Кыргызской Республики зарегистрированы препараты, произведенные в 24 странах мира, при этом препараты НПВП группы производных пропионовой кислоты, произведенные в странах ЕАЭС, составляют 19,3%. Наибольший удельный вес среди производных пропионовой кислоты на фармацевтическом рынке Кыргызстана имеют твердые лекарственные формы (37,95%). 91,6% всех зарегистрированных НПВП группы производных пропионовой кислоты составляют монопрепараты. Большая часть НПВП из группы производных пропионовой кислоты находится в низко- и среднеценовом сегменте.

Ключевые слова: анализ конъюнктуры, НПВП, кетопрофен, ибупрофен, напроксен, флурбипрофен, декскетопрофен

BUSINESS ANALYSIS OF THE PHARMACEUTICAL MARKET OF THE KYRGYZ REPUBLIC OF NSAIDS – PROPIONIC ACID DERIVATIVES

Ermekova D.U.

Institute of Chemistry and Phytotechnology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: dinaermekova.de@gmail.com

The article presents the results of the analysis of the pharmaceutical market conditions of NSAIDs of the group of propionic acid derivatives in the Kyrgyz Republic. The results of the study showed that on the pharmaceutical market of Kyrgyzstan there are 156 trade names of NSAIDs of the propionic acid derivative group, the largest part of the assortment is made up of ibuprofen (M01AE01), represented by 66 trade names of drugs (42,3%), and ketoprofen (M01AE03), represented by 57 trade names of drugs (36,5%). It is noted that among the manufacturers supplying NSAIDs to Kyrgyzstan, 81.41% are non-CIS countries, among which Turkey is the leader 18,6%. An analysis of the assortment by producer country showed that the drugs produced in 24 countries are registered in the Department of Drug Support and Medical Technology of the Kyrgyz Republic, while the drugs NSAIDs of the propionic acid derivative group produced in the EAEU account for 19,3%. The largest share among propionic acid derivatives on the pharmaceutical market of Kyrgyzstan is in solid dosage forms (37,95%). Single drugs are 91.6% of all registered NSAIDs of the group of propionic acid derivatives. Most of the NSAIDs from the group of propionic acid derivatives are in the low and mid-price segment.

Keywords: market analysis, NSAIDs, ketoprofen, ibuprofen, naproxen, flurbiprofen, dexketoprofen

Нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП) обладают ярко выраженным противовоспалительным эффектом, анальгезирующим, жаропонижающим действием, широко применяются при различных заболеваниях: ревматоидный артрит, остеоартрит, воспалительные артропатии, дисменорея и другие боли различного генеза и степени выраженности [1–3].

Существуют разные типы НПВП, одни из которых наиболее целесообразно использовать для ургентной терапии острой боли (например, кетопрофен), а другие в наибольшей степени подходят для длительного контроля боли при хронических заболеваниях [4]. Широким спектром фармакологической активности НПВП и обусловлена высокая частота их клинического использования. Из литературных данных известно, что около 20% населения земного шара применяют НПВП. Так, например, в Российской Федерации в 2017 г. объем реализации лекарственных препаратов для лечения заболеваний костно-мышечной системы достиг 8,4% от общего объема розничных продаж. Постоянно растущий покупательский спрос приводит к расширению ассортимента генериков в различных дозировках и лекарственных формах [5]. Кроме того, увеличивается количество комбинированных препаратов, в состав активных ингредиентов которых введены по 2 НПВП, хотя рациональность фармацевтической разработки подобных препаратов зачастую

сомнительна. В связи с этим перед врачом и фармацевтом часто возникает проблема выбора доступного по цене НПВП из имеющегося ассортимента с наилучшим соотношением польза/риск.

Учитывая широкий спектр фармакологических свойств и большое число заболеваний, синдромов и симптомов, при которых показано применение НПВП, изучение ассортимента и реализации ЛП этой группы в аптечных организациях является актуальным.

Цель исследования: анализ конъюнктуры фармацевтического рынка НПВП производных пропионовой кислоты в Кыргызской Республике.

Материалы и методы исследования

Для анализа конъюнктуры фармацевтического рынка НПВП производных пропионовой кислоты в Кыргызской Республике было проведено системное аналитическое исследование данных государственного реестра ЛС и ИМН КР, 2019 г с использованием методов структурного, логического, графического и контент-анализа [6], прайс-листов оптовых поставщиков и аптечных сетей г. Бишкек. Полученные данные обрабатывались стандартными статистическими методами с использованием пакета анализа Excel для программы Microsoft Office 2016.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные нами данные показали, что к концу 2019 г. на лекарственном рынке Кыргызской Республики, с учетом лекарственных форм, дозировок и разновидностей стандартных упаковок ЛП, было зарегистрировано 156 наименований ЛП из группы НПВП производных пропионовой кислоты, из них 136 – под торговыми наименованиями, и 20 – под генерическим наименованием (рис. 1).

Наибольшая доля в ассортименте НПВП из группы производных пропионовой кислоты, разрешенных к медицинскому применению и введенных в Государственный реестр ЛС Кыргызской Республики, принадлежит препаратам ибупрофена (M01AE01), которые представлены 66 наименованиями ЛС (42,03 %), и кетопрофена (M01AE03), представленным 57 наименованиями ЛС, что составляет 36,5 % (таблица).

Результаты анализа сегментации фармацевтического рынка НПВП Кыргызстана по странам – производителям показали, что весь ассортиментный состав НПВП из группы производных пропионовой кислоты представлен следующими производителями из 24 стран, из них 19,3 % ЛП производится странами ЕАЭС, а 80,7 % – другими странами-производителями. Среди товаропроизводителей НПВП из группы производных пропионовой кислоты дальнего зарубежья по количеству зарегистрированных в КР ЛП лидирует Турция (18,58 %). Из стран ЕАЭС наибольшее число зарегистрированных НПВП из группы производных пропионовой кислоты приходится на долю России – 7,9 % ассортиментных позиций (рис. 2).

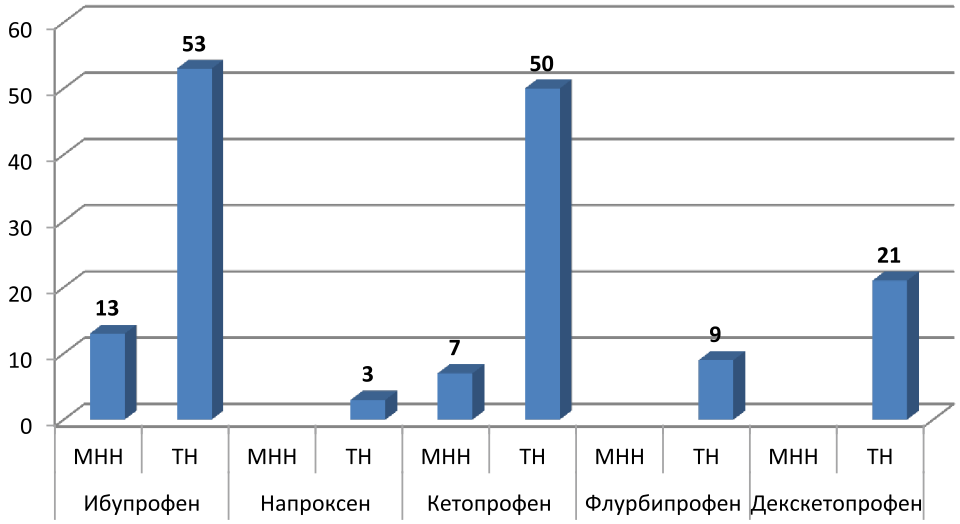


Рис. 1. НПВП группы производных пропионовой кислоты, зарегистрированные в Кыргызстане под МНН и торговыми наименованиями

Распределение НПВП группы производных пропионовой кислоты по классификации АТХ

Фармакотерапевтическая группа	Код АТХ	МНН	Кол-во ЛП	%
Нестероидные противовоспалительные и противоревматические препараты. Производные пропионовой кислоты. М01А Е	М01АЕ01	Ибупрофен	66	42,30
	М01АЕ02	Напроксен	3	1,9
	М01АЕ03	Кетопрофен	57	36,5
	М01АЕ09	Флурбипрофен	9	5,7
	М01АЕ14	Декскетопрофен	21	13,46
Итого			156	100

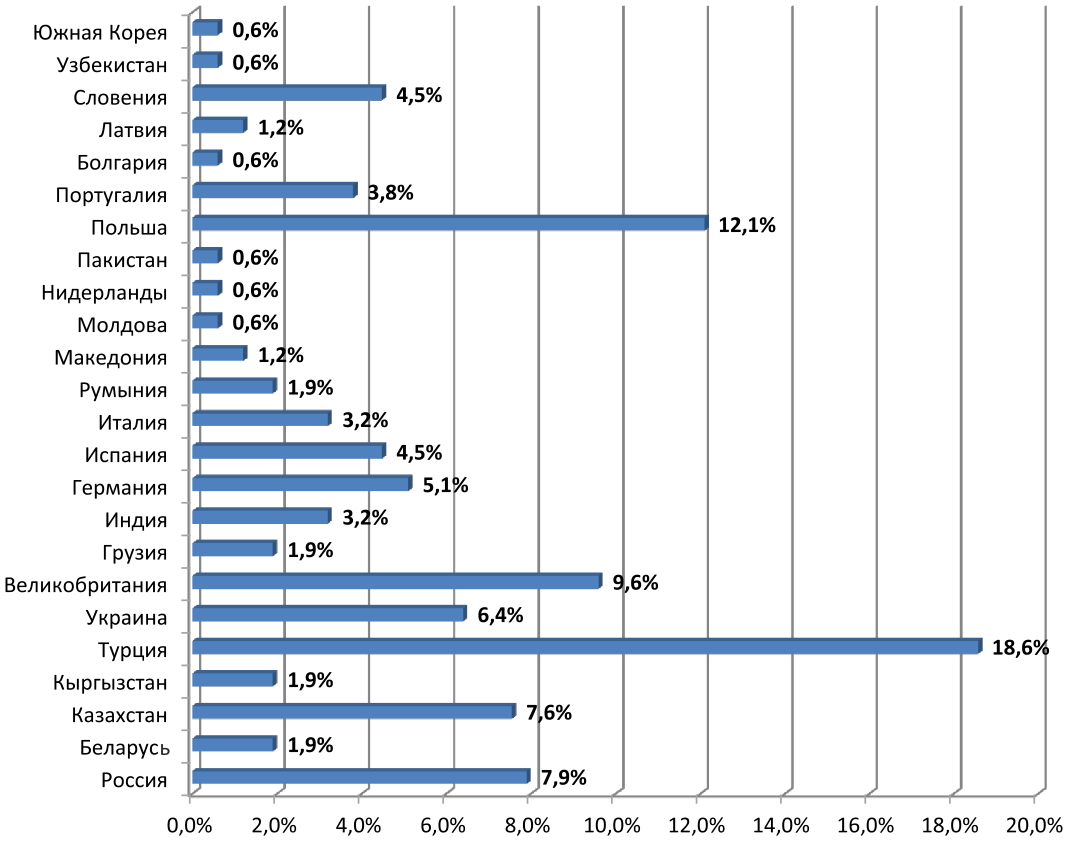


Рис. 2. Структура поставок (в %) НПВП группы производных пропионовой кислоты на фармацевтический рынок Кыргызстана

На фармацевтическом рынке Кыргызской Республики НПВП группы производных пропионовой кислоты представлены в следующих лекарственных формах: твердые лекарственные формы составляют 37,95%; мягкие – 27%; жидкие – 32,84% и лекарственные формы в виде аэрозоля – 2,1% (рис. 3).

Далее нами было проведено структурирование лекарственного рынка Кыргызстана НПВП группы производных пропионовой кислоты по числу действующих веществ в лекарственном препарате, результаты которого представлены в виде диаграммы на рис. 4. Как видно, 91,6% НПВП группы производных пропионовой кислоты составляют монопрепараты.

В целях обобщения полученных данных нами был построен маркетинговый макроконтур НПВП группы производных пропионовой кислоты в Кыргызской Республике (рис. 5).

Результаты анализа цен на НПВП из группы производных пропиновой кислоты на фармрынке Кыргызстана показали, что в низкоценовом сегменте со стоимостью до 200 сом (2,8$) за условную упаковку оказались 18 лекарственных препаратов, при этом 8 из них – в виде твердых лекарствен-

ных форм (Галгезин, Нурофен, Ибупрофен, Декстанол, Кетанем форте, Кетотоп форте, Кетанем ретард, Мапрофен); 2 препарата – в виде мягких лекарственных форм (Феброфид, Быструмгель) и 8 ЛП представлены жидкими лекарственными формами (Перуфен, Болнол плюс, Парамакс, Новэкс ибупрофен, Доларен кид, Флурофен, Цинепар кид лайт). Средняя стоимость условной упаковки составила 131 сом (1,8$).

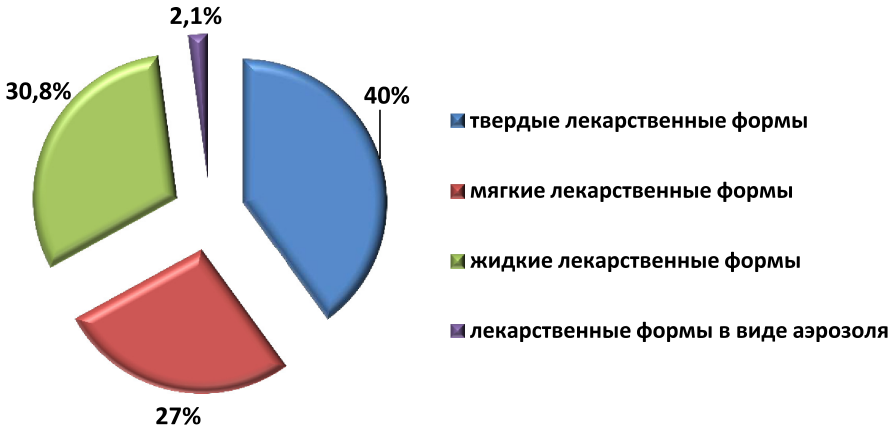


Рис. 3. Структура (в%) НПВП группы производных пропионовой кислоты по лекарственным формам

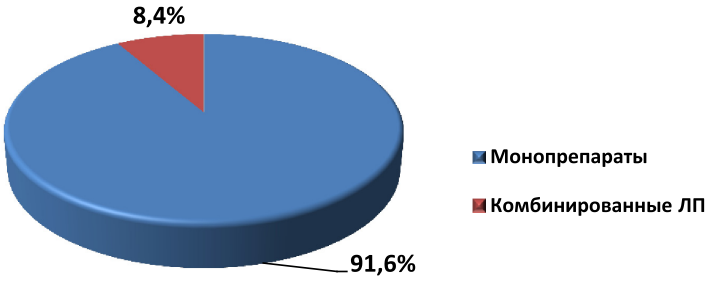


Рис. 4. Структура фармацевтического рынка Кыргызской Республики НПВП группы производных пропионовой кислоты по числу действующих веществ

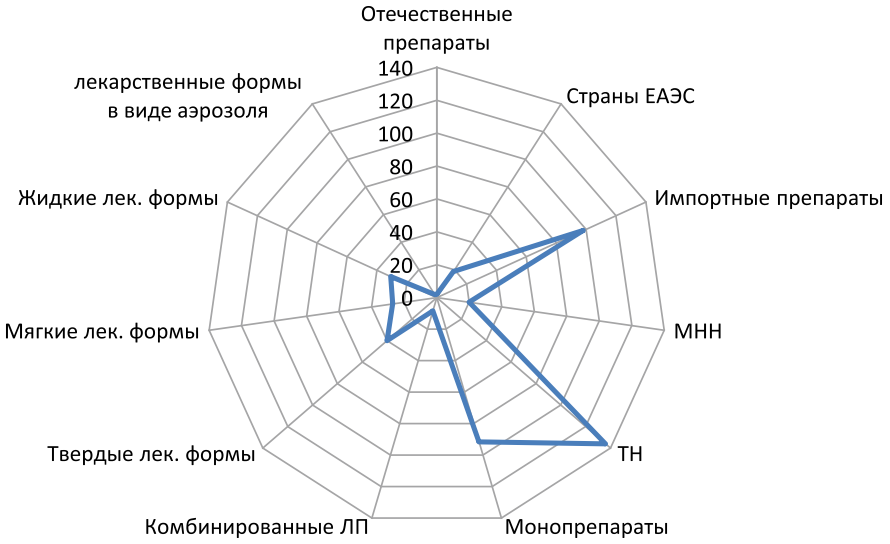


Рис. 5. Маркетинговый макроконтур фармацевтического рынка Кыргызской Республики НПВП группы производных пропионовой кислоты

Оценка средних розничных цен на НПВП группы пропионовой кислоты показала, что значительную часть исследуемого рынка занимают препараты среднеценового сегмента со стоимостью от 200 до 500 сом (2,8$ – 4,3$) за условную упаковку. Эту группу составило 21 торговое наименование НПВП. В данном сегменте твердые лекарственные формы были представлены 4 ЛП (Риболь, Напрофф, Сертофен, Мажезик сановель дуо), мягкие – 13 ЛП (Инфорин, Долгит, Дип рилиф, Риболь, Риболь стик, Ибуфен Бэби, Сертофен, Декстанол, Фастумгель, Кетомед, Сертофен Артрокол, Мажезик сановель) и жидкие лекарственные формы – 4 препаратами (Ибуфен Д форте, Кетотоп, Артрокол, Мажезик сановель дуо). Средняя стоимость условной упаковки в этом сегменте составила 284 сом (4,1$).

В высокоценовом диапазоне находились препараты от 500 до 1400 сом (4,3–8,6$) за условную упаковку, сюда вошли 4 торговых наименования ЛП, и все они были представлены жидкими лекарственными формами (Гиненорм, Сертофен, Кейвер, Роталфен). Средняя стоимость условной упаковки в высокоценовом диапазоне составила 975 сом (14,1$).

Заключение

На основании полученных данных можно резюмировать следующее: в настоящее время всего в Кыргызстане зарегистрировано 156 НПВП группы производных пропионовой кислоты, 20 ЛП под МНН и 136 препаратов под торговыми наименованиями, что демонстрирует достаточную ассортиментную насыщенность фармацевтического рынка Кыргызской Республики НПВП группы производных пропионовой кислоты.

Лидерами фармацевтического рынка Кыргызстана по числу зарегистрированных торговых наименований являются лекарственные препараты с МНН – ибупрофен, кетопрофен, декскетопрофен. В структуре поставок НПВП группы пропионовой кислоты в Кыргызстане лидирующую позицию занимает Турция (18,6%). Доминирующей лекарственной формой НПВП являются твердые лекарственные формы, на долю которых приходится 37,95% всех зарегистрированных препаратов данной группы. 91,6% всех зарегистрированных НПВП группы производных пропионовой кислоты составляют монопрепараты.

Установлено, что только четыре ЛП НПВП группы производных пропионовой кислоты находятся в высокоценовом сегменте, а большая часть препаратов данной группы находится в низко- и среднеценовом сегменте, что делает их экономически доступными для большей части населения страны.

Список литературы

1. Журавлева М.В., Кукес В.Г., Прокофьев А.Б., Сереброва С.Ю., Городецкая Г.И., Бердникова Н.Г. Рациональное применение НПВП – баланс эффективности и безопасности (обзор литературы) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6–4. С. 687–696.

2. Каратеев А.Е., Лила А.М., Дыдыкина И.С., Камчатнов П.Р., Мазуренко С.О., Наприенко М.В., Новикова Д.С., Островерхов О.П., Пчелинцев М.В. Персонификация применения нестероидных противовоспалительных препаратов при скелетно-мышечных заболеваниях. (Резолюция по результатам совещания экспертов от 13 декабря 2017 года). Медицинский совет. 2018. № 18. С. 76–84. DOI: 10.21518/2079-701X-2018-18-76-84.

3. Каратеев А.Е, Насонов ЕЛ, Яхно Н.Н. Клинические рекомендации «Рациональное применение нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП) в клинической практике» // Современная ревматология. 2015. № 1. С. 4–23.

4. Кузнецова А.П., Мельникова О.А. Оценка востребованности лекарственных препаратов из группы нестероидных противовоспалительных средств // Молодой ученый. 2018. № 50. С. 92–94. [Электронный ресурс]. URL: https://moluch.ru/archive/236/54792/ (дата обращения: 18.01.2020).

5. Олейникова Т.А., Пожидаева Д.Н. Анализ тенденций развития фармацевтического рынка нестероидных противовоспалительных препаратов в России // Ремедиум. 2018. № 5. С. 14–20.

6. Государственный реестр лекарственных средств и изделий медицинского назначения Кыргызской Республики [Электронный ресурс]. URL: http://www.pharm.kg / (дата обращения: 18.01.2020).

ОБЗОРЫ

УДК 615.471:621.74:621.762:615.471

ВОЗМОЖНОСТИ ИНЖЕКЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ (MIM – METAL INJECTION MOLDING) В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Базлов В.А., Мамуладзе Т.З., Харитонов К.Н., Ефименко М.В., Голенков О.И., Пронских А.А., Панченко А.А., Павлов В.В.

ФГБУ «Новосибирский НИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, e-mail: sbazlov@yandex.ru

Целью исследования стало изучение возможности применения инжекционного формования металлических порошков (Metal Injection Molding – MIM) в производстве серийной медицинской продукции. В ходе работы было проанализировано 29 интернет-ресурсов, 21 периодический иностранный литературный источник, 5 периодических российских источников. Анализ литературных данных показывает, что менее 1% компаний, использующих MIM-технологию, производят около 8-9% всех медицинских изделий с применением MIM технологии. MIM-технологии обеспечили изготовление изделий сложной конфигурации с высокими прочностными характеристиками, не уступающих по физико-химическим свойствам прокатной продукции. Однако есть ряд отрицательных моментов, в том числе: относительно высокие инвестиционные и операционные затраты, и ряд ограничений, связанных с геометрией изделия, не позволяющий работать с крупными изделиями. Развитие PIM (Powder Injection Molding), MIM и CIM-технологии в Российской Федерации стремительно набирает обороты, рынок фидстоков и оборудования, использующегося для производства серийной продукции по PIM-технологии, растет в среднем на 9–11% в год. Данная технология может стать альтернативой традиционной технологии обработки компонентов в изготовлении серийной медицинской продукции, при этом обеспечивая схожие прочностные характеристики.

Ключевые слова: Metal Injection Molding, серийные медицинские изделия, эндопротезирование, хирургический инструментарий, пластины для внутреннего остеосинтеза

CAPABILITIES INJECTION MOLDING OF METAL POWDERS (MIM – METAL INJECTION MOLDING) THE PRODUCTION OF MEDICAL PRODUCTS

Bazlov V.A., Mamuladze T.Z., Kharitonov K.N., Efimenko M.V., Golenkov O.I., Pronskikh A.A., Panchenko A.A., Pavlov V.V.

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, e-mail: sbazlov@yandex.ru

The aim of the study was to investigate the possibility of applying injection molding of metal powders (Metal Injection Molding – MIM) in the production of series of medical products. In the course of work were analyzed 29 Internet resources, 21 periodicals foreign literature source, 5 of the periodic sources in Russia. The analysis shows that less than 1% of companies using MIM technology, produce about 8-9% of all medical devices with the use of MIM technology. MIM technology provided for manufacturing articles of complex configuration with high strength characteristics, but there are some negative points: relatively high investment and operating costs, and a number of constraints associated with the geometry of the product. The development of PIM (Powder Injection Molding), MIM and CIM technology in the Russian Federation is rapidly gaining momentum, the market for feedstocks and equipment used to produce serial products using PIM technology is growing by an average of 9-11% in year. This technology can become an alternative to the traditional technology of processing components in the manufacture of serial medical products, while ensuring similar strength characteristics.

Keywords: Metal Injection Molding, a serial medical device, joint replacement, surgical tools, inner plates for osteosynthesis

Первые результативные эксперименты использования MIM-технологии были проведены в 1979 г. «Parmatech Corp.» (Германия) при изготовлении деталей сложной геометрии для летательных аппаратов Боинг 707/727. В том же году та же компания наладила серийный выпуск части деталей реактивного двигателя Rocketdyne, который используется в авиастроении по настоящее время [1, 2]. В 1988 г. оружейная компания «Remington Arms» (США) часть деталей сложной геометрии для винтовки Remington model 700 BDL произвела методом инжекционного формования [1, 2]. Сегодня детали, изготавливаемые по PIM-технологии, используются в самых разных областях, таких как автомобилестроение, точное машиностроение, приборостроение, авиаракетостроение, электроинструмент, электроника, медицина, бытовая техника, потребительские товары, спортивный инвентарь, музыкальный инструмент, ювелирная и часовая промышленность.

Технология MIM (Metal Injection Molding) представляет собой заливку металла в заранее изготовленную форму под дав-

лением методом впрыска. Технологическая цепочка получения готовой детали состоит из выбора исходного материала, состоящего из металлического/керамического порошка (MIM/CIM-технология) и связующих компонентов, дальнейшего предварительного спекания в заданной форме, удаление связующего материала, и окончательного спекания. В результате окончательного спекания получают изделие с полностью удаленным связующим компонентом, закаленную спеканием с заданными размерами и допусками. Деталь практически без доработок готова к непосредственному использованию. При этом возможно задать требуемую пористость поверхности изделия на этапе спекания, таким образом изделия не подвергаются вторичной обработке – нанесению пористого покрытия, что крайне важно в производстве компонентов эндопротезов крупных суставов.

В России сегодня широко известны 6 компаний, использующие MIM-технологию в различных областях народного хозяйства, в том числе медицине. За рубежом данная технология более популярна – насчитывается более 400 компаний, использующих в производстве своей продукции MIM-технологии [1, 2], в том числе 106 в США, 69 в Китае, 41 в Германии, 38 в Японии, 17 в Тайване, 14 в Корее, 12 в Швейцарии [1, 3, 4]. Однако в настоящее время в промышленных масштабах инжекционное формование используют около 20 крупных корпораций, в том числе и в медицине [5, 6].

Наибольшее распространение PIM-технология получила в стоматологии: коррекционные брекеты, эндодонтические наконечники (MIM), керамические имплантаты на основе фосфатов Ca, Na, керамические источники излучения для стерилизации медицинского инструмента (CIM) [7, 8].

Материалы и методы исследования

Цель исследования – изучение возможности применения инжекционного формования металлических порошков (Metal Injection Molding – MIM) в производстве серийной медицинской продукции как альтернативы традиционным технологиям производства. В результате анализа информации доступных печатных и электронных изданий были определены российские и ведущие зарубежные компании, которые на данный момент используют в своем технологическом процессе MIM-технологию. По изученным материалам дана оценка возможности использования MIM-технологии в медицине в целом, а также в травматологии и ортопедии в частности.

Известно несколько отечественных компаний, которые используют инжекционное формование для производства ограниченных партии изделий из фидстоков зарубежного производства. Это следующие компании: «Технологическая компания» (Россия, mimtech.ru); ЗАО «Группа АНИКС», (Россия, anics.com), выпускающие MIM изделия из фидстоков компании «BASF» (Германия) [1, 9]; ООО «Куранты», (Россия, kuranty.pro); ООО «Синтез», (Россия, sintez-pm.com), которая выпускает ограниченные партии ортодонтических брекетов по заказу компании «Dental Plus» (Россия) из фидстоков, произведенных в Доминиканской Республике. Использование MIM-технологии в Российской Федерации для производства в других областях медицины не зафиксировано. Отечественное промышленное производство фидстоков отсутствует. В первую очередь это связано с рядом технологических ограничений использования MIM технологии, в том числе таких, что один из параметров изделия не может превышать 250 мм, а вес изделия должен быть в пределах от 0,1 до 100 г и средняя толщина стенки – от 0,5 до 6 мм [1, 10]. Инжекционное формование как технология производства требует относительно высоких первоначальных инвестиций, поскольку для каждого нового изделия требуется разработка и изготовление литьевой формы. При этом каждая форма требует выпуск пробной партии изделий с целью коррекции усадки, и в некоторых случаях необходима замена литьевой формы с учетом погрешностей предыдущей. В таких условиях возможно обеспечить окупаемость только при выпуске крупных партий изделий (от 10 до 20 тыс. единиц в год для изделий средней сложности геометрии и порядка 1000 единиц в год для изделий сложной формы) [11].

Мировой рынок MIM крайне неравномерен, например в Индии всего 3 компании использующие MIM-технологию в качестве основной, но с довольно значительным оборотом и перспективами роста (крупнейшая в мире компания «Indo-US MIM» (Индия – США) с объемом продаж $ 140 млн и ожидаемыми темпами роста 27%). Максимальный рынок MIM в финансовом измерении – в США ($ 492 млн), далее – быстрорастущий рынок в Китае ($ 483 млн), рынок Европы составляет $ 420 млн (в том числе: $ 140 млн – Германия, $ 78 млн – Испания, $ 87 млн – Швейцария) [12, 13]. Рынок Бразилии составляет $ 70 млн, Японии – $ 116 млн. Кумулятивный рынок остальных стран (Россия, Малайзия, Австралия, Канада, Турция, Израиль) состав-

ляет $ 197 млн. В 2016 г. глобальный рынок MIM-технологий составил $ 2,1 млрд с прогнозом роста к 2018 г. до $ 2,88 млрд. Географически 47% рынка ($ 702 млн) локализовано в странах Азии, 21% – в Европе и 26% – в Северной Америке [14].

Лидерами MIM-рынка в настоящее время являются: «Acelent Technologies Pte. Ltd.» (США), «Advanced Materials Technologies Pte. Ltd.» (США), «SolidMicron Technologies Pte. Ltd.» (Сингапур), «Changzhou GIAN Technology Co. Ltd.» (Китай), «Zhejiang Yihuo Tech Co., Ltd.» (Китай), «Ecrimesa» (Испания), «Epson Atmix Corp.» (Япония), «Indo-US MIM» (Индия – США), «Schunk Sintermetalltechnik» (Германия), «Taurus» (Бразилия), «ARC Group, Parmatech Corp.» (Германия), «Kinetics Climax, Inc.» (США), «Smith Metal Products» (США) [1, 12, 15]. В общем объеме преимущественно более насыщенного зарубежного рынка медицинские изделия составляют около 8–9% от всей производимой по данной технологии продукции [16].

Мировыми лидерами в производстве медицинской продукции являются следующие компании:

1. «Advanced Forming Technology» (США, www.aftmim.com):

– ортодонтические брекеты;

– оборудование для хирургического лечения катаракты;

– слуховые аппараты (составные части);

– эндоскопические инструменты;

– винты для имплантации в костную ткань (рис. 1);

– сосудистые порты;

– компоненты эндопротезов: коленный, тазобедренный, спинальный.

Рис. 1. Винты для имплантации в костную ткань, произведенные по технологии инжекционного формования металлических порошков (MIM)

2. «AF Technologies India Pvt. Ltd.» (Индия, www.indo-mim.com):

– хирургические инструменты: эндоскопические захваты и ножницы, ручки скальпеля, щипцы, абляционные электроды;

– пластины для внутреннего остеосинтеза, винты, имплантаты и устройства для внешней фиксации позвоночника, инструменты для ортопедической хирургии;

– ортодонтические скобки, стоматологические инструменты;

– слуховые аппараты (корпуса, имплантаты).

3. «DEMCON» (Германия, www.demcon.nl) – компания, специализирующаяся на производстве комплектующих для аппаратных медицинских комплексов роботизированного управления:

– система позиционирования иглы – «Miriam»;

– система «TeleFLEX», которая была произведена в 2013 г. с поставкой интегрированной роботизированной системы, состоящей из трех модулей, предназначена для управления эндоскопом и приборов эндоскопической стойки;

– «Advanced Endoscopy»;

– система искусственного дыхания «MACAWI»;

– система измерения артериального давления «FINAPRES NOVA», разработанная как измерительная платформа, для которой предусмотрены различные аппаратные модули;

– «ExSilent Q» – слуховой аппарат, носимый в ушном канале (микроизделие);

– система офтальмологической хирургии «EVA».

4. «Praxis Technology» (США, www.praxisti.com) – является лидером на рынке ортопедических имплантатов, производимых по технологии MIM, специализируется исключительно на производстве имплантатов из пористого титана TiMIM (Titan Metal Injection Molding), в технологии своего производства использует пористый титан. Данный материал давно и успешно применяется как в травматологии и ортопедии, так и в других областях хирургии. Основные преимущества данного материала: остеоинтеграция (биологическая фиксация), биоинертность (задается оптимальная шероховатость для лучшей первичной стабильности). Необходимо отметить что данный материал в традиционной машинной обработке нуждается в значительных трудо- и энергозатратах, а получение заданной пористости имплантата требует повторной обработки. На данный момент методом TiMIM производится следующая продукция:

А. Ортопедические имплантаты:

– ацетобулярный компонент эндопротеза тазобедренного сустава (рис. 2);

– бедренные и тибиальные компоненты эндопротезов коленных суставов;

– эндопротез надколенника;

– компоненты эндопротеза локтевого сустава;

– компоненты для эндопротезирования голеностопного сустава и стопы.

Рис. 2. Ацетобулярный компонент эндопротеза тазобедренного сустава, выполненный по технологии инжекционного формования металлических порошков (MIM)

Б. Имплантаты, применяемые в хирургии позвоночника: TLIF-, ALIF- и PLIF-кейджи (рис. 3).

Рис. 3. Кейдж для декомпрессивно-стабилизирующих оперативных вмешательств на позвоночнике, произведенный по TiMIM технологии (Titan Metal Injection Molding) из пористого титана

Доля остальных компаний, использующих MIM-технологию на международном рынке медицинских изделий незначительна.

Компании, специализирующиеся на выпуске серийной медицинской продукции, используют однотипное сырье: материалы используемые в хирургии и эндопротезировании (кобальт-хром) с пределом прочности на уровне 650 МПа и прочностью на сдвиг 450 МПа, нержавеющие стали (аустенитные, ферритные, мартенситные, дисперсно-упрочненные, дуплексные) с характеристиками предела прочности 0,4–2,0 ГПа, сдвиговой прочности 0,2–1,9 ГПа, различные сплавы титана TiMIM [1, 17, 18]. Благодаря технологии MIM комбинируются преимущества заливки металлов в форму под давлением путем впрыска и традиционная технология обработки металлических изделий на ЧПУ станках. Таким образом становится возможным получение более требовательных, сложных, иногда даже не пригодных для литья конструктивных изделий, что часто требуется в изготовлении медицинской продукции.

Результаты исследования и их обсуждение

Технологии инжекционного формования дали толчок к развитию нового этапа производства изделий сложной геометрической формы, где необходимо выполнение деталей с ювелирной точностью, со свойствами материала, близкими к свойствам проката. В этом смысле MIM-технологии пришли на смену традиционным литьевым технологиям и обработки заготовок на ЧПУ станках [1, 19, 20]. Технология формования металлов под давлением обеспечили изготовление изделий сложной геометрической формы из широкого спектра материалов, с высокими прочностными характеристиками (приближающимися к изделиям, полученным механической обработкой: толщина стенки от 0,5 мм, шероховатость 1 мкм, прочностные свойства на уровне проката), но при этом значительно более высокой производительности и меньшей себестоимости [19–21].

Однако есть ряд отрицательных моментов:

– значительные первоначальные инвестиции в оборудование и литьевые формы, что не позволяет использовать MIM-технологии для выпуска ограниченной партии изделий, или индивидуального изделия – например имплантата крупного сустава;

– высокие риски, связанные с закупкой расходных материалов – в большинстве случаев используемые для формования смеси производятся за пределами РФ;

– строгие требования к геометрии изделия (ни один из геометрических параметров изделия не должен быть более 250 мм, вес изделия от 0,1 до 100 г, средняя толщина стенки от 0,5 до 6 мм).

Заключение

В ходе анализа литературных данных определено, что в медицинской сфере работают менее 1% компаний, использующие MIM-технологию, которые производят около 8% от всех изделий, изготовленных с применением MIM-технологии. Наиболее значимым игроком на рынке медицинских изделий, выпускающем серийную продукцию на основе MIM-технологии, является «Praxis Technology» (США, www.praxisti.com). «Praxis Technology» изготавливает с применением MIM-технологии следующую продукцию: ацетобулярные компонен-

ты эндопротезов тазобедренного сустава, бедренные и тибиальные компоненты эндопротезов коленных суставов, эндопротез надколенника, компоненты эндопротеза локтевого сустава, компоненты для эндопротезирования голеностопного сустава и стопы, TLIF-, ALIF- и PLIF-кейджи. По предварительной оценке, около 67 % материалов, использующихся в производстве медицинских изделий посредством MIM, – это сплавы титана (TiMIM). «Praxis Technology» обладают технологией изготовления кейджей из титана с заданной пористостью. Технология MIM соединяет преимущества порошковой металлургии с преимуществами литья под давлением и механической обработки изделий на аппаратах ЧПУ. Большое количество мелких деталей с дорогостоящей технологией производства, которые нельзя изготовить традиционными технологиями, такими как фрезерование, точение, можно реализовать технологией MIM с наименьшими экономическими и трудовыми затратами. Технология MIM предлагает максимальную заложенную точность воспроизведения медицинских изделий. Это значит, что такие параметры, как соблюдение размеров, геометрии, механические свойства, будут гарантированы как при штучном изготовлении, так и при серийном производстве. Изменения свойств деталей легко корректируются путем изменения состава исходного порошка.

Развитие PIM (Powder Injection Molding) (MIM, CeramicIM) технологии в Российской Федерации стремительно набирает обороты, рынок фидстоков и оборудования, использующегося для производства серийной продукции по PIM-технологии, растет в среднем на 9–11 % [19, 22, 23] в год.

Список литературы

1. Дежина И.Г., Пономарев А.К. Публичный аналитический доклад по направлению «Новые производственные технологии» // Сколковский институт Науки и технологии. М., 2015. С. 127–143.

2. Jacob A., Steven M., Arnold B., Bednarcyk A. Micromechanics of Composite Materials: A Generalized Micromechanics of Composite Materials: A Generalized Multiscale Analysis Approach // Butterworth-Heinemann, 2012. P. 87–101.

3. Nikolaidis E., Dan M.G., Singhal S. Engineering Design Reliability Handbook. CRC Press, 2014. P. 287–314.

4. David L., Panchal J., Choi H.-J., Seepersad C., Allen J., Mistree F. Integrated Design of Multiscale, Multifunctional Materials and Products. Butterworth-Heinemann, 2009. P. 100–121.

5. Bolyanovich, V. Powder metallurgy. In the processes of metal forming: casting and molding, Processing of Solid Particles, Deformation Processes, Metal Removal. Industrial Press Inc. New York, USA, 2010. P. 23–41.

6. Дряхлов Е.М. Компас промышленной реструктуризации // Периодическое издание «Оборудование». 2003. № 3. С. 38–47.

7. Heaney D., Handbook of Metal Injection Molding. Wood head Publishing Series in Metals and Surface Engineering. Elsevier, 2012. P. 287–337.

8. Murray K., Osprey S. Euro MIM Open Meeting. October 10. PIM International. 2010 Vol. 4. No. 4. P. 12–21. [Electronic resource]. URL: http://www.pim-international.com/about-pim (date of access: 21.01.2020).

9. Wohlers Report 2017. Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report. Wohlers Associates, 2017. P. 187–211.

10. Data Sheet Catamold 42CrMo4 // BASF SE GBU Inorganic Specialties. 2010 № 009. [Electronic resource]. URL: http://www.dispersions-pigments.basf.com/portal (date of access: 21.01.2020).

11. Kamal M.R., Isayev A.I., Liu S.-J., White J.L. Injection Molding – Technology and Fundamentals. Carl Hanser Verlag. Munich 2009. P. 131–142.

12. Randall M.G. Progress in Titanium Metal Powder Injection Molding. Materials 2013. № 6. P. 3641–3662.

13. Subramanian V. Metal and ceramic injection molding. BCC Research. 2014. Vol. 49. P. 25–48. [Electronic resource]. URL: https://www.bccresearch.com/market-research/advanced-materials/metal-ceramic-injection-molding-avm049c.html (date of access: 21.01.2020).

14. Lee J.-S., Choi J.-P., Lee G.-Y. Consolidation of Hierarchy-Structured Nanopowder Agglomerates and Its Application to Net-Shaping Nanopowder Materials. Materials. 2013. № 6. P. 87–91.

15. You W.-K., Choi J.-P., Yoon S.-M., Lee J.-S. Low temperature powder injection molding of iron micro-nano powder mixture. Powder technology. 2012. Vol. 228. P. 67–73.

16. Williams N. Metal Injection Moulding in the firearms industry: a global perspective. PIM International. 2014. Vol. 8 (4). P. 31–47.

17. Rajabi J., Muhamad N., Sulong A.-B. Effect of nanosized powders on powder injection molding: a review. Microsyst Technol. 2012. Vol. 18. P. 1941–1961.

18. Патент РФ № 2175993 Российская Федерация Заславский, МПК C22C 35/00 Хладностойкая модифицированная литая сталь и способ ее производства А.Я., Симанов А.Н., Дубровин А.С. // Подача заявки 31.12.1999 патент опубликован 20.11.2001. С. 34–67.

19. Калинина Н.Е., Кавац О.А., Калинин В.Т. Модифицирующая обработка литейных силуминов дисперсными композициями // Авиационно-космическая техника и технология. 2008. № 7. С. 16–19.

20. Калинина Н.Е., Кавац О.А., Калинин В.Т. Повышение технологических свойств литейных алюминиевых сплавов при модифицировании нано-дисперсными частицами // Авиационно-космическая техника и технология. 2010. № 4. С. 17–20.

21. Калинина Н.Е., Калиновская А.Е., Калинин В.Т., Дудников А.С. Особенности наномодифицирования многокомпонентных никелевых сплавов // Авиационно-космическая техника и технология. 2012. № 7. С. 23–26.

22. PIM International. 2018. Vol. 12. № 4. P. 11–19. [Electronic resource]. URL: https://www.pim-international.com/powder-injection-moulding-international-magazine-archive/pim-international-vol-12-no-4-december-2018 (date of access: 21.01.2020).

23. German R.M. PIM Breaks Barrier of $ 1 Billion Metal Powder Report. 2008. Vol. 63. No. 3. P. 8–10.

УДК 617.528

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМА МЯГКИХ ТКАНЕЙ В ОБЛАСТИ ЗУБОВ И ИМПЛАНТАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЕДИНИТЕЛЬНОТКАННЫХ АУТОТРАНСПЛАНТАТОВ

Кулаков А.А., Бадалян В.А., Паринов Д.А., Мартиросова А.Ю.

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России, Москва, e-mail: daparinov@gmail.com

На сегодняшний день в хирургической стоматологии невозможно переоценить значимость работы с мягкими тканями полости рта. Мукогингивальная хирургия развивалась постепенно, начиная с использования свободных десневых трансплантатов, используемых для увеличения зоны прикрепленной десны, постепенно смещаясь в сторону методик, обеспечивающих более высокий эстетический результат. Золотым стандартом пародонтальной хирургии на сегодняшний день является применение свободных соединительнотканных аутотрансплантатов из области твердого нёба и бугра верхней челюсти. Аутотрансплантаты из различных донорских зон обладают различной гистоморфологической структурой, которая зачастую и определяет различия в клиническом результате их применения. Аутотрансплантаты из области твердого нёба, как правило, имеют более развитую сосудистую сеть, что положительно сказывается на реваскуляризации аутотрансплантата в послеоперационном периоде, однако количество коллагеновых волокон в аутотрансплантате из области нёба в среднем ниже, чем в аутотрансплантате из области бугра верхней челюсти. Помимо этого, имеются серьезные различия в составе трансплантатов и на уровне экспрессии генов и ферментов, ответственных за продукцию коллагена. Знание этих особенностей необходимо для составления четкого протокола работы и для получения наилучшего результата, способного удовлетворить самые строгие эстетические требования пациента.

Ключевые слова: имплантация, аутотрансплантаты, твёрдое нёбо, рецессии, десна, бугор, мягкие ткани, свободный соединительнотканный трансплантат

MODERN APPROACHES TO INCREASE THE VOLUME OF SOFT TISSUES IN THE AREA OF TEETH AND IMPLANTS USING CONNECTIVE TISSUE GRAFTS

Kulakov A.A., Badalyan V.A., Parinov D.A., Martirosova A.Yu.

Central Research Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery, Moscow, e-mail: daparinov@gmail.com

Today in surgical dentistry it is impossible to overestimate the importance of working with soft tissues of the oral cavity. Mucogingival surgery has evolved gradually, starting with the use of free gum grafts used to enlarge the area of the attached gum, gradually shifting towards techniques that provide a higher aesthetic result. The gold standard of periodontal surgery today is the use of free connective tissue autotransplants from the area of the hard palate and the maxillary tuberosity. Autografts from different donor sites have different histomorphological structure, which often determines the differences in the clinical result of their application. Autotransplants from the hard palate region usually have a more developed vascular network, which positively affects the revascularization of the autotransplant in the postoperative period, however, the number of collagen fibers in the autotransplant from the palate region is lower on average than in the autotransplant from the maxillary tuberosity. In addition, there are significant differences in the composition of transplants at the level of expression of genes and enzymes responsible for collagen matebolism. Knowledge of these features is necessary to create a precise protocol of work and to obtain the best result that would be able to satisfy the most exacting aesthetic requirements of the patient.

Keywords: implants, autotransplants, hard palate, recessions, gums, gingiva, tuberosity, collagen tissue graft, soft tissues

При лечении частичного и полного отсутствия зубов ортопедические конструкции на дентальных имплантатах прочно вошли в современную стоматологию в качестве «золотого стандарта». Четкие протоколы имплантации, работы с костной тканью позволяют достигать предсказуемой интеграции имплантатов [1]. В связи с этим эстетический аспект имплантологического лечения, как и всей стоматологии, выходит на первый план.

Критерием эстетического успеха реставрации является способность максимально имитировать натуральный зуб [2], для чего необходим симбиоз оптимального позиционирования имплантата в костной ткани и состояния мягких тканей периимплантатной зоны. Правильные параметры толщины, уровня, цвета и текстуры мягких тканей предопределяют эстетический успех реставрации [2] являются гарантом долгой службы имплантата ввиду снижения риска развития периимплантита [3] и обеспечивают удовлетворенность лечением пациента и доктора.

С момента своего внедрения (более 50 лет назад) трансплантация мягких тканей все чаще используется в клинической практике для увеличения толщины десны в области зубов и имплантатов, коррекции

слизисто-десневых деформаций, улучшения эстетики и создания адекватной ширины кератинизированной десны (КД) [4; 5].

Целью нашего исследования является обзор современных подходов и аутотрансплантатов, используемых для увеличения объема мягких тканей полости рта.

Наличие адекватной ширины и толщины КД имеет важное значение для зубов, а для имплантатов может быть критическим. Кератинизированная слизистая оболочка десны и ее достаточный объем, как показала практика, защищает поверхность зубов и имплантатов от потери клинического прикрепления вследствие воспаления, защищает от механической травмы, способствует проведению более качественной индивидуальной гигиены полости рта для пациентов [6].

Несколько последних исследований показали, что увеличение объема мягких тканей с использованием свободного десневого трансплантата эффективно для уменьшения воспаления слизистой оболочки, дискомфорта пациента и обеспечения оптимального контроля над биопленкой вокруг имплантатов [7]. Более того, сообщалось, что толщина мягких тканей критически важна и может влиять на потерю краевой кости в области имплантатов [6].

Метаанализ Thoma et al. показал, что увеличение объема мягких тканей аутогенными трансплантатами является наиболее предсказуемым методом поддержания состояния здоровья периимплантатных тканей для увеличения ширины и толщины кератинизированной десны [8]. Было установлено, что наличие как минимум 2 мм кератинизированной десны обеспечивает защитными свойствами мягкие ткани, окружающие имплантаты, а имплантаты с меньшим количеством кератинизированной десны более склонны к развитию биологических осложнений [9; 10].

Методика использования свободного десневого трансплантата (СДТ), полученного из твердого неба, была впервые предложена Nabers с целью углубления преддверия полости рта [11]. Эта техника позже была модифицирована Sullivan и Atkins и применялась для закрытия рецессий десны в области зубов. В дальнейшем показания для использования СДТ расширились и стали применяться в области имплантатов как после их установки, так и для адаптации мягких тканей до реконструкции альвеолярного гребня и последующей установки имплантатов [12].

В то время как традиционные подходы при проведении мягкотканной пластики были нацелены прежде всего на увеличение кератинизированной десны, основная цель современной пародонтологии заключается в достижении конечных эстетических результатов [4; 13]. Внедрение в практику и замена СДТ на субэпителиальные соединительнотканные трансплантаты (ССТ) представляют собой переход от традиционной хирургии слизистой оболочки десны к пластической хирургии пародонта [4]. Существует множество доказательств того, что ССТ является методом выбора и активно используется на сегодняшний день при лечении рецессии десны зубов и имплантатов [14; 15], для увеличения толщины мягких тканей [3], маскировки измененного цвета корней зубов или видимых компонентов имплантата [4], а также реконструкции межзубной десны [16].

В то время как СДТ, сохраняя свой первоначальный вид мягких тканей неба на участке реципиента, может приводить к плохой эстетической интеграции и образованию «заплаткоподобной» текстуры [4], ССТ способен увеличивать объем и качество мягких тканей, а также обеспечивать гармоничный, эстетический контур десны [4; 13].

При лечении рецессий десны в области имплантатов настоятельно рекомендовано использование ССТ независимо от изначальной ширины и толщины окружающей имплантат кератинизированной десны [17].

Для получения ССТ с неба было предложено несколько методик, такие как метод «окна», одиночного и параллельного разреза. Данные хирургические способы забора ССТ нацелены преимущественно на достижение заживления первичным натяжением, путем сохранения покрывного лоскута, который затем плотно адаптируется швами к донорскому участку после забора трансплантата. Эти методики первоначально считались золотым стандартом, поскольку, в отличие от классического способа забора СДТ, они сопровождались меньшей послеоперационной чувствительностью и считались менее травматичными [18].

Тем не менее в дальнейшем было продемонстрировано, что ССТ может быть получен путем забора СДТ и его последующей деэпителизацией, а послеоперационная чувствительность приравнивалась как после забора ССТ методом «окна», при условии, если донорская область полученного трансплантата защищена в послеоперационном периоде [19]. Также, за последнее время было опубликовано несколько утверждений в пользу снижения болевой чувствительности при заборе СДТ и улучшение заживление раны на небе, соблюдая определенные параметры, по сравнению с классическими методами получения ССТ [20].

Производить забор субэпителиального соединительнотканного трансплантата (ССТ) можно лишь в определенных участках слизистой оболочки полости рта, которые соответствуют следующим критериям: возможность обеспечения оптимального размера трансплантата, приемлемая послеоперационная болезненность и отсутствие серьезных рисков для здоровья [4]. Безусловно, зонами выбора для стоматологов являются: зона твердого нёба – от клыка до второго моляра, и область бугра верхней челюсти.

Трансплантаты из различных донорских зон, как правило, имеют различную геометрическую форму: ССТ с бугра более объемные и короткие, в то время как ССТ из латеральной области твердого нёба более протяженные и тонкие [4].

Также донорские зоны имеют различия в степени дискомфорта в послеоперационном периоде для пациента, что было показано в работе группы американских ученых [21]. При стандартизированном размере забираемого ССТ (толщиной 1,5 мм, одинаковой длины и ширины) пациенты отмечали различную степень выраженности болевых ощущений в послеоперационном периоде. Боль оценивалась по субъективной шкале от 1 до 10. В среднем показатели болевых ощущений в группе пациентов с донорской зоной в области твердого нёба были существенно выше, чем у пациентов с донорской зоной в области бугра (5,9 ± 2,74 против 2,6 ± 2,16).

Клинический опыт многих исследователей [4; 5] свидетельствует о том, что в долгосрочном периоде (1 год и более) после аугментации мягких тканей альвеолярного гребня ССТ из области бугра верхней челюсти и твердого нёба могут наблюдаться существенные отличия в клиническом результате. Ткани, аугментированные трансплантатами с твердого нёба, зачастую показывают значительное уменьшение объема в первые недели, но затем остаются стабильными в долгосрочном периоде и обеспечивают надлежащий эстетический результат. В свою очередь, при использовании ССТ из области бугра зачастую отмечается хорошая стабильность полученного объема тканей в первые месяцы, а затем наблюдается тенденция к гиперпластической реакции, увеличению объема и появлению эстетически нежелательного эффекта «белой заплатки» [22].

Ключ к пониманию механизмов, ответственных за столь отличающиеся клинические результаты и разное поведение соединительнотканных трансплантатов, лежит в их различном гистоморфологическом строении.

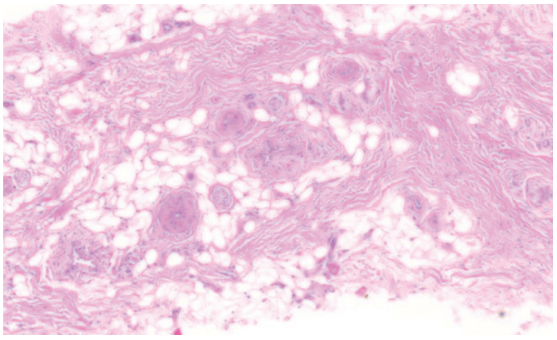


Рис. 1. Микропрепарат в окраске гематоксилин-эозином представлен участком соединительной ткани подслизистого слоя твердого нёба. Значительную площадь поверхности препарата занимают кровеносные сосуды и жировая ткань

Данные отечественной и зарубежной литературы свидетельствуют о том, что трансплантаты из области бугра имеют более плотное строение за счет большего числа коллагеновых волокон в lamina propria, чем ткань из области переднего отдела твердого нёба (72.79 % волокон для ССТ из области бугра против 51.08 % для ССТ из области твердого нёба по данным Tavelli 2019 [23], что обуславливает стабильное сохранение первоначального объема ССТ из области бугра. При рассмотрении глубжележащих слоев тканей донорских областей также наблюдаются значительные отличия: в подслизистом слое переднего отдела твердого нёба наблюдается гораздо большее количество жировой и железистой ткани, нежели в области бугра верхней челюсти (25,75 % против 4,89 % по данным Sanz-Martin, 2019 [24], что может влиять на большую усадку нёбного трансплантата, меньшее увеличение объема мягких тканей и значительно более слабую индукцию кератинизации эпителия аугментируемой области [25].

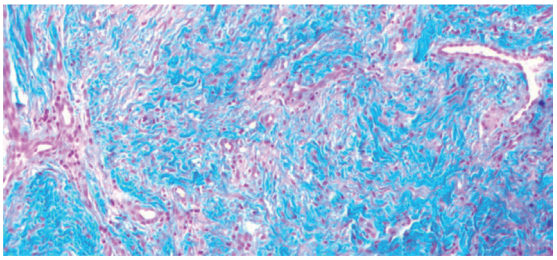


Рис. 2. Микропрепарат в окраске по Маллори представлен участком соединительной ткани lamina propria из области твердого нёба. Хорошо заметна богатая васкуляризация и рыхлая структура коллагеновых волокон

В свою очередь, соединительная ткань из области бугра менее васкуляризована, что затрудняет питание трансплантата на этапе, когда сосуды питающего ложа еще не проросли в трансплантат, и вся его трофика происходит за счет диффузии. В связи с этим ССТ из области бугра должен быть полностью перекрыт тканями реципиентного ложа, в отличие от ССТ из области переднего отдела твердого нёба, где допустимо частичное оголение трансплантата для заживления вторичным натяжением [4].

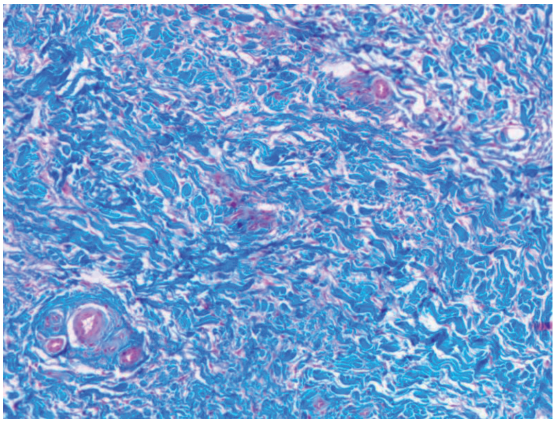


Рис. 3. Микропрепарат в окраске по Маллори представлен участком субэпителиальной соединительной ткани из области бугра верхней челюсти. Наблюдается более плотная структура соединительной ткани наряду с меньшим количеством кровеносных сосудов

По данным Dellavia C., Ricci G. 2014 [26] при использовании ССТ из области бугра для аугментации мягких тканей альвеолярного гребня в отдаленных сроках весьма часто отмечается неудовлетворительный эстетический результат в виде гиперплазии мягких тканей и изменения цвета – эффект «белой заплатки». В связи с этим для достижения удовлетворительного состояния мягких тканей приходилось прибегать к гингивопластике измененного участка, однако в течение 9 месяцев, по данным исследований, происходило возвращение 70 % объема тканей, удаленного после пластики. Гиперпластические изменения связаны с особой структурой коллагеновых волокон соединительной ткани в области бугра верхней челюсти: при созревании коллагена были обнаружены процессы, схожие с теми, что протекают в организме при фиброзных изменениях других органов и систем. Выдвигаются гипотезы о принадлежности фибробластов мягких тканей бугра и твердого нёба к различным субпопуляциям, обладающих разными показателями активности экспрессии генов, ответственных за продукцию ферментов, участвующих в метаболизме коллагена: его созревании, создании поперечных цепей и деградации. Таким образом, в мягких тканях бугра верхней челюсти деградация коллагена металло-матриксными протеиназами затруднена ввиду большего количества поперечных связей коллагеновых волокон, что клинически находит своё проявление в гиперпластической реакции.

Рис. 4. Гиперпластическая реакция слизистой оболочки в области зуба 2.3 через 1 год после коронального смещения лоскута с ССТ из области бугра верхней челюсти

Заключение

Современная стоматология развивается в направлении увеличения предсказуемости результата лечения, получения высоких функциональных и эстетических показателей и снижения послеоперационного дискомфорта для пациентов, в связи с чем научно обоснованное использование соединительнотканных трансплантатов остаётся темой активного изучения.

На сегодняшний день нашей исследовательской группой проводится клинико-гистологическое исследование с целью обоснования применения соединительнотканных трансплантатов из различных зон нёба для устранения дефицита мягких тканей в области зубов и имплантатов. Продемонстрированные в статье микропрепараты используются для изучения гистоморфологической структуры ткани донорских областей твердого нёба и бугра верхней челюсти. Основной задачей исследования является выявление зависимости клинических и эстетических результатов аугментации мягких тканей от гистологического строения использованных соединительнотканных трансплантатов, изучение их регенеративного потенциала и разработка научно обоснованного протокола забора, формирования размера и применения сое-

динительнотканных трансплантатов из различных донорских областей в различных клинических ситуациях для достижения оптимального результата лечения.

Список литературы

1. Sailer I., Makarov N.A., Thoma D.S., Zwahlen M., Pjetursson B.E. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). Dent Mater. 2015 Jun. 31(6). P. 603–623. DOI: 10.1016/j.dental.2015.02.011.

2. Belser U.C., Grütter L., Vailati F., Bornstein M.M., Weber H.-P., Buser D. Outcome Evaluation of Early Placed Maxillary Anterior Single-Tooth Implants Using Objective Esthetic Criteria: A Cross-Sectional, Retrospective Study in 45 Patients With a 2-to 4-Year Follow-Up Using Pink and White Esthetic Scores. J. Periodontol. 2009. Vol. 80. P. 140–151. DOI: 10.1902/jop.2009.080435.

3. Thoma D.S., Buranawat B., Hämmerle CH.F., Held U., Jung R.E. Efficacy of soft tissue augmentation around dental implants and in partially edentulous areas: A systematic review. J. Clin. Periodontol. 2014. 41 (Suppl.15). S77–91. DOI: 10.1111/jcpe.12220.

4. Zuhr O., Baumer D., Hurzeler M. The addition of soft tissue replacement grafts in plastic periodontal and implant surgery: critical elements in design and execution. J. Clin. Periodontol. 2014.41 Suppl. 15. S123–142. DOI: 10.1111/jcpe.12185.

5. Cortellini P., Pini Prato G. Coronally advanced flap and combination therapy for root coverage. Clinical strategies based on scientific evidence and clinical experience. Periodontol. 2000. 2012. Vol. 59. P. 158–184 DOI: 10.1111/j.1600-0757.2011.00434.x.

6. Giannobile W.V., Jung R.E., Schwarz F. Groups of the 2nd Osteology Foundation Consensus M. Evidence-based knowledge on the aesthetics and maintenance of peri-implant soft tissues: Osteology Foundation Consensus Report. Clin. Oral Implants Res. 2018 Mar. 29 Suppl. 15. P. 7–10. DOI: 10.1111/clr.13110.

7. Oh S.L., Masri R.M., Williams D.A., Ji C., Romberg E. Free gingival grafts for implants exhibiting lack of keratinized mucosa: a prospective controlled randomized clinical study. J. Clin. Periodontol. 2017. Vol. 44. P. 195–203. DOI: 10.1111/jcpe.12660.

8. Thoma D.S., Naenni N., Figuero E., et al. Effects of soft tissue augmentation procedures on perii-mplant health or disease: A systematic review and meta-analysis. Clin. Oral Implants Res 2018. 29 Suppl. 15. P. 32–49. DOI: 10.1111/clr.13114.

9. Perussolo J., Souza AB., Matarazzo F., Oliveira R.P., Araujo M.G. Influence of the keratinized mucosa on the stability of peri-implant tissues and brushing discomfort: A 4-year follow-up study. Clin. Oral Implants Res. 2018. Vol. 29. P. 1177–1185. DOI: 10.1111/clr.13381.

10. Monje A., Blasi G. Significance of keratinized mucosa/gingiva on peri-implant and adjacent periodontal conditions in erratic maintenance compliers. J. Periodontol. 2018. DOI: 10.1002/JPER.18-0471.

11. Nabers J.M. Free gingival grafts. Periodontics 1966. Vol. 4. P. 243–245.

12. Urban I.A, Nagy K., Werner S., Meyer M. Evaluation of the Combination of Strip Gingival Grafts and a Xenogenic Collagen Matrix for the Treatment of Severe Mucogingival Defects: A Human Histologic Study. Int. J. Periodontics Restorative Dent. 2019. Vol. 39. P. 9–14. DOI: 10.11607/prd.3921.

13. Cairo F. Periodontal plastic surgery of gingival recessions at single and multiple teeth. Periodontol. 2000. 2017. Vol. 75. P. 296–316. DOI: 10.1111/prd.12186.

14. Zucchelli G., Felice P., Mazzotti C., et al. 5-year outcomes after coverage of soft tissue dehiscence around single implants: A prospective cohort study. Eur. J. Oral Implantol. 2018. Vol. 11. P. 215–224. PMID: 29806668.

15. Tavelli L., Barootchi S., Nguyen TV.N., Tattan M., Ravida A., Wang H.L. Efficacy of tunnel technique in treatment of localized and multiple gingival recession: A systematic review and meta-analysis. J. Periodontol. 2018. Vol. 89. P. 1075–1090. DOI: 10.1002/JPER.18-0066.

16. Feuillet D., Keller J.F., Agossa K. Interproximal Tunneling with a Customized Connective Tissue Graft: A Microsurgical Technique for Interdental Papilla Reconstruction. Int. J. Periodontics Restorative Dent. 2018. Vol. 38. P. 833–839. DOI: 10.11607/prd.3549.

17. Zucchelli G., Tavelli L., Stefanini M., et al. Classification of facial peri-implant soft tissue dehiscence/deficiencies at single implant sites in the esthetic zone. J. Periodontol. 2019. DOI: 10.1002/JPER.18-0616.

18. Wessel J.R., Tatakis D.N. Patient outcomes following subepithelial connective tissue graft and free gingival graft procedures. J. Periodontol. 2008. Vol. 79. P. 425–430. DOI: 10.1902/jop.2008.070325.

19. Zucchelli G., Mele M., Stefanini M., et al. Patient morbidity and root coverage outcome after subepithelial connective tissue and de-epithelialized grafts: a comparative randomized-controlled clinical trial. J. Clin. Periodontol. 2010. Vol. 37. P. 728–738. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2010.01550.x.

20. Tavelli L., Ravida A., Salen MHA., et al. Pain perception following epithelialized gingival graft harvesting: a randomized clinical trial. Clin. Oral Investig. 2018. DOI: 10.1007/s00784-018-2455-5.

21. Amin P.N., Bissada N.F., Ricchetti P.A., Silva APB., Demko C.A. Tuberosity versus palatal donor sites for soft tissue grafting: A split-mouth clinical study. Quintessence Int. 2018. Vol. 49. P. 589–598. DOI: 10.3290/j.qi.a40510.

22. Jung U.-W., Um Y.-J., Choi S.-H. Histologic Observation of Soft Tissue Acquired From Maxillary Tuberosity Area for Root Coverage. J. Periodontol. 2008. Vol. 79 (5). P. 934–940. DOI: 10.1902/jop.2008.070445.

23. Tavelli L., Barootchi S., Greenwell H., Wang H.L. Is a soft tissue graft harvested from the maxillary tuberosity the approach of choice in an isolated site? J. Periodontol. 2019 Aug. Vol. 90 (8). P. 821–825. DOI: 10.1002/JPER.18-0615.

24. Sanz-Martín I., Rojo E., Maldonado E., Stroppa G., Nart J., Sanz M. Structural and histological differences between connective tissue grafts harvested from the lateral palatal mucosa or from the tuberosity area. Clin. Oral Investig. 2019 Feb. Vol. 23(2). P. 957–964. DOI: 10.1007/s00784-018-2516-9.

25. Ouhayoun J.P., Sawaf M.H., Gofflaux J.C., Etienne D., Forest N. Re-epithelialization of a palatal connective tissue graft transplanted in a non-keratinized alveolar mucosa: a histological and biochemical study in humans. J. Periodontal Res. 1988. Vol. 23. P. 127–133. DOI: 10.1111/j.1600-0765.1988.tb01345.x.

26. Dellavia C., Ricci G., Pettinari L., Allievi C., Grizzi F., Gagliano N. Human Palatal and Tuberosity Mucosa as Donor Sites for Ridge Augmentation. Int. J. Periodontics Restor. Dent. 2014. Vol. 34. P. 179–186. DOI: 10.11607/prd.1929.

УДК 618.14-002

СТЕРИЛЬНОСТЬ ЖЕНЩИН КАК СЛЕДСТВИЕ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ГЕНИТАЛИЙ

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

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ростов-на-Дону, e-mail: fortis.petrov@gmail.com

На сегодняшний день воспалительные заболевания гениталий и органов малого таза имеют широкую распространенность. Среди этих заболеваний находятся и те методы диагностики и лечения, которые до сих пор остаются не совершенными и недостаточно эффективными. В случае неправильного подхода к терапии, возникают ситуации, когда женщина не имеет возможности полноценно реализовывать свой репродуктивный потенциал, что отрицательно сказывается на ее соматическом и психическом здоровье, а также способствует разрушению института брака и семьи. Доказано, что хронический воспалительный процесс в эндометрии имеет крайне негативное влияние на его морфологию и функциональное состояние, и приводит к серьезным отдаленным осложнениям, таким как бесплодие, неудачные исходы при применении вспомогательных репродуктивных технологий, самопроизвольное прерывания беременности, осложненного течения гестационного периода. Кроме того, бесконтрольное назначение антибиотиков может привести к антибиотикорезистентности, а также снижению реактивности организма женщины и ухудшению гомеостаза. Усовершенствование медов диагностики, лечения и профилактики воспалительных заболеваний гениталий позволит улучшить прогноз при последующих беременностях, а также снизить вероятность развития всевозможных осложнений, влияющих на репродуктивное здоровье женщины.

Ключевые слова: хронический эндометрит, бесплодие, женщины, воспалительные заболевания, антибиотикотерапия

STERILITY OF WOMEN AS A CONSEQUENCE OF INFLAMMATORY DISEASES OF THE GENITALS

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

Rostov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian, Rostov-on-Don, e-mail: fortis.petrov@gmail.com

The number of inflammatory diseases of the genitals and pelvic organs today is a huge number, among these diseases are those whose methods of diagnosis and treatment are still not perfect and not effective enough. In the case of an incorrect approach to therapy, you can move on to a situation where a woman is not able to fully realize their reproductive potential. Retail randomized studies were conducted in which it was shown that the chronic inflammatory process in the endometrium has an extremely negative impact on its morphology and functional state and leads to serious long-term complications such as infertility, unsuccessful outcomes in the application of assisted reproductive technologies, spontaneous abortion, complicated course of the gestational period. In addition, the uncontrolled administration of antibiotic therapy can lead to resistance of bacteria, as well as reduce the reactivity of the woman's body and the deterioration of homeostasis. Improvement of honey diagnostics, treatment and prevention of inflammatory diseases of the genitals will improve the prognosis in subsequent pregnancies.

Keywords: chronic endometritis, infertility, women, inflammatory disease, antibioticotherapia

На сегодняшний день острые и хронические воспалительные заболевания гениталий имеют широкое распространение вследствие снижения резистентности организма в условиях современной экологии, а также в результате неоправданного использования антибиотиков широкого спектра действия, применения внутриматочных контрацептивов [1–3]. Данная группа заболеваний вносит существенные изменения в состояние репродуктивной системы у женщин. Кроме того воспалительные заболевания оказывают негативное влияние на фертильность женщины, повышают риск развития бесплодия, ранних репродуктивных потерь и других осложнений. В структуре заболеваний органов репродуктивной системы на современном этапе на первый план выходит хронический эндометрит (ХЭ), который обнаруживается, по данным статистики, у 68% пациентов, при этом до 80% из них входят в группу женщин фертильного возраста.

Цель работы: анализ источников литературы, посвященных современным представлениям о влиянии воспалительных заболеваний органов малого таза на репродуктивное здоровье и фертильность женщин.

Состояние репродуктивной системы женщины является прямым отражением здоровья организма в целом. Любые нелеченые заболевания гениталий и органов малого таза оказывают непосредственное воздействие на процессы имплантации плодного яйца и сохранение беременности [4].

Рассматривая хронические заболевания репродуктивной системы женщин, необходимо особое внимание уделить проблеме хрони-

ческого эндометрита. Доказано, что хронический воспалительный процесс в эндометрии приводит к нарушению его морфологии, а также негативно сказывается на функциональном состоянии, и в результате возникают серьезные отдаленные осложнения, такие как бесплодие, неудачные исходы при применении вспомогательных репродуктивных технологий, самопроизвольное прерывания беременности, осложненное течение гестационного периода [5]. Для того чтобы избежать данных осложнений и сохранить репродуктивный потенциал пациенток, врачу акушеру-гинекологу необходимо своевременно и правильно диагностировать заболевание.

Хронический эндометрит – это заболевание, возникающее вследствие воздействия инфекционного агента (бактериального или вирусного) на эндометрий матки, в результате чего наблюдается воспаление и нарушение рецептивной функции с дальнейшими морфологическими преобразованиями [6, 7].

Для хронического эндометрита, в современном понимании данного заболевания, характерен ряд особенностей, в число которых входит превалирование вирусной и условно патогенной этиологии. Эта особенность является результатом применения антибактериальных препаратов широкого спектра действия при неустановленной патогенной бактериальной флоре, неадекватной терапии или недостаточных срочных реабилитационных мероприятий непосредственно после внутриматочных вмешательств. Исходя из этого становится понятным, что хронический эндометрит превалирует над продуктивным. Принимая во внимание этот аспект, можно сделать логичный вывод о профилактике и своевременной диагностике этого заболевания [8, 9].

Резкое увеличение распространения хронического эндометрита объясняется также повышением резистентности бактерий к терапии препаратами и трансформацией микрофлоры.

Наиболее явной и часто встречаемой причиной возникновения хронического эндометрита остается наличие в анамнезе нелеченого послеабортного эндометрита, а также внутриматочных вмешательств вне беременности. В том случае, если происходит на протяжении длительно времени стимуляция клеток иммунной защиты, компенсаторные механизмы на местном уровне ослабевают, это создаёт благоприятную среду для дальнейшего развития воспаления и внедрения возбудителя. На первый план при этом выступают жалобы на тянущие боли внизу живота [10, 11].

Тема перестройки иммунной системы на фоне хронического эндометрита, остается недостаточно изученной на сегодняшний день. Предпосылками для развития иммунодиагностики послужили имеющиеся данные об активации системы фагоцитов, патологические механизмы именного ответа и нарушение местного гомеостаза.

Процессы, способствующие развитию хронизации в слизистой эндометрия матки, на данный момент остаются недостаточно изученными, однако мы точно знаем, что при длительном воспалительном процессе в эндометрии нарушается образование толл-подобных рецепторов, а это в дальнейшем ведет за собой снижение активации клеток иммунной системы и соответственно снижение защиты эндометрия [12].

Как известно при хроническом эндометрите наблюдается снижение ответной реакции эндометрия на половые гормоны, это связанно по большей части не со сниженной секрецией эстрогена и прогестерона, а с низкой экспрессией рецепторов и фиброзными преобразованиями стромы эндометрия. Иными словами имеется недостаточное количество рецепторов, в результате рецептивная функция нарушается. Каскад этих процессов приводит также к уменьшению секреторной активности, железы перестают соответствовать своему развитию при нормальном циклическом преобразовании эндометрия. В результате слизистая оболочка оказывается неподготовленной для имплантации бластоцисты и дальнейшего ее развития. Принимая во внимание выше сказанное становится понятным патогенетические особенности связи эндометрита и бесплодия [13, 14].

Касаясь клинических симптомов необходимо сказать, что данное заболевание имеет довольно смазанную картину, и основываясь только на внешних проявлениях постановка диагноза крайне затруднительна. К основным жалобам относится всевозможные нарушения менструального цикла в виде обильных, скудных выделений или же метроррагий, боли внизу живота, однако это не обязательный симптом и возможно полное отсутствие каких либо неприятных ощущений, бесплодие, преждевременный разрыв плодных оболочек, самопроизвольные аборты, преждевременные роды, бактериальный вагиноз и тд. Как видно специфические симптомы отсутствуют, поэтому женщины могут не обращаться за помощью к гинекологу, в связи с этим становится понятным частота встречаемости хронического эндометрита.

Однако в качестве основного диагностического клинического критерия хронического эндометрита также может выступать бесплодие и другие нарушения фертильно-

сти, вследствие неопределенности клиники, включая неэффективность ЭКО. Если обращаться к статистике, то в больше половине процентов случаев выделяют жалобы на длительные боли и нарушение менструального цикла, поэтому предпочтительно ставить эти критерии как основы симптоматики при данном заболевании [15].

К ещё одному аспекту патогенеза, а также фактору нарушения репродуктивной функции следует отнести процессы, связанные с системой клеточного иммунитета. То есть речь идёт о склерозировании спиральных артерий и маточных желёз. Это происходит за счёт лимфоидных комплексов воспаления, которые располагаются рядом с этими элементами. Нарушается соотношение между провоспалительными и противовоспалительными системами. Лимфоцитарные комплексы стимулируют миграцию моноцитов к очагу воспаления, они в свою очередь трансформируются в макрофаги. Каскад этих реакции приводит к тому, что появляется все больше иммунокомпетентных клеток включая Т и В лимфоциты. Происходит синтез интерлейкинов, протромбиназы, что соответственно приводит к трансформации экстрацеллюлярного матрикса и образованию тромбов. Становится понятным этиология и механизм развития бесплодия при хроническом эндометрите [16].

У женщин, страдающих невынашиванием беременности и хроническими процессами в эндометрии, были выявлены в слизистой оболочке сниженная экспрессия трансформирующего росткового фактор бета и желатиназ. Трансформирующий ростковый фактор бета – необходим для благоприятной жизнедеятельности белков, контролирующих развитие, а также дифференцировку клеток. Роль данного фактора в возникновении спонтанных абортов на данный момент остается дискутабельной. На основе современной информации, можно сказать, что его сниженная экспрессия может приводить к развитию хореокарциномы за счет своей способности блокировать фазу клеточного цикла и, вследствие этого, тормозить развитие клеток с атипией [17, 18].

При диагностике хронического эндометрита стоит уделять пристальное внимание правильному сбору анамнеза, микроскопии мазков из уретры, цервикального канала и слизистой оболочки влагалища, результаты посевов на флору и ПЦР-диагностика отделяемого шейки матки и ее полости, результаты эхографического исследования, заключения биопсии и гистероскопии. Морфологическое исследование является одним из наиболее информативных методов. Возможно и использование сонографии, однако, исследование в пределах идентификации гистероскопических макротипов даст возможность сделать проще процесс дифференцирования эндометрита и сонографических «масок» этого заболевания [19, 20].

Касаясь морфологического исследования, необходимо сказать о его важности в этапах диагностики хронического эндометрита. При изучении материалов акцентируют внимание на наличие плазматических клеток, которые являются основным критерием постановки диагноза. Однако в нормальной слизистой также отмечают наличие иммунокомпетентных клеток в виде макрофагов, лимфоцитов и в том числе плазматических клеток, но их концентрация значительно меньше. Следующим моментом является обнаружение склерозированных участков сосудов, о чем говорилось выше. Наличие гемосидерина на слизистой указывает на то, что было локальные кровоизлияние с последующим образованием тромба. При длительно текущем и не леченном заболевании можно заметить фиброзирование стромы, причём объемы поражения прямо пропорциональны запущенности процесса [21, 22].

При гистероскопическом исследовании важно понимать какую цель мы преследуем при диагностике. Для уточнения вопроса по поводу структурных изменений в виде полипов, синехий, гипертрофия эндометрия необходимо дождаться фолликулиновой фазы цикла, а в других случаях для диагностики секреции нужна лютеиновая фаза. Во время исследования характерным является наличие участка гиперемии (локального покраснения), гипертрофия, очаги кровоизлияния и микрополипы. Эти критерии не являются единственными, однако наиболее информативны [23].

Нельзя упускать и то, что при взятии биопсионного материала происходит нарушение целостности покрова, а это, соответственно, усугубляет ситуацию. Матка, как и любой другой орган, на раздражение отвечает воспалением, но так как полость матки не стерильна и, кроме того, имеется хронический эндометрит, можно подойти к ещё более стремительному развитию процесса и персистенция инфекционного агента [24].

Остается дискутабельным вопрос целесообразности назначения антибактериальных химиопрепаратов при данном заболевании. В тоже время очевидна необходимость санации матки в случае ее микробной контаминации и персистирующем воспалении. В результате бесконтрольного назначения антибиотиков врачами и применения препаратов самой женщиной развивается в различной степени толерант-

ность бактерий к воздействию лечения. В связи с этим фармакологическая индустрия вынуждена создавать все более новые и действенные химиопрепараты [25, 26]. На начальном этапе лечения при неустановленной этиологии необходимо помимо антибактериальных препаратов, принимать и противовирусные, так как в большинстве случаев преобладает смешанная инфекция. При точном установлении вида возбудителя по средствам бактериологических посевов, взятого материала из влагалища и шейки матки останавливаются на конкретном препарате. После санации в целях восстановления нормальной микрофлоры целесообразно назначение пре и пробиотиков, а также витаминных комплексов. Учитывая развившуюся ишемию, склерозирование сосудов и изменение структуры сосудистой сети актуально применение физиотерапевтических средств, а также антиоксидантов для максимального улучшения состояния сложившихся последствий. Насторожённость, этиотропный подход в лечении и грамотная интерпретация всех полученных диагностических данных, позволяют сохранить здоровье женщины и ликвидировать всевозможные последствия заболевания [27, 28].

Выводы

Основываясь на том, что было сказано выше, следует вывод, что появляются новые диагностические исследования, позволяющие верифицировать диагноз, исключить повторные внутриматочные вмешательства, а также предупредить возникновение хронических заболеваний после данных операций. Спорным остается подход к терапии хронического эндометрита, которая должна быть патогенетически обоснованной, адекватной и достаточно длительной. Усовершенствование методов диагностики и лечения воспалительных заболеваний гениталий позволит улучшить прогноз при последующих беременностях.

Список литературы

1. Петров Ю.А. Воздействие продолжительной внутриматочной контрацепции на эндометрий // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5. [Электронный ресурс]. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=25101 (дата обращения: 03.01.2020).
2. Петров Ю.А. Оценка онкологического риска внутриматочной контрацепции на основе цитологических исследований эндометрия // Вопросы онкологии. 1985. № 12. С. 53.
3. Petrov I.A., Kovaleva E.A. Proliferative mucosal changes of the corpus and cervix uteri in women using intrauterine contraceptives // Вопросы онкологии. 1986. Т. 32. С. 49.
4. Цаллагова Л.В., Кабулова И.В., Золоева И.А. Роль хронического эндометрита в генезе бесплодия // Кубанский медицинский вестник. 2014. № 4. С. 131–132.
5. Петров Ю.А. Микробиологические детерминанты хронического эндометрита // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2011. № 6 (166). С. 110–113.
6. Петров Ю.А. Роль микробного фактора в генезе хронического эндометрита // Кубанский научный медицинский вестник. 2016. № 3 (158). С. 113–118.
7. Петров Ю.А. Аспекты микробиологической и иммунной диагностики хронического эндометрита // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. [Электронный ресурс]. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=24811 (дата обращения: 03.01.2020).
8. Ниаури Л.Д. Иммуногистохимическая характеристика рецептивности эндометрия в циклах ЭКО // Акушерство и гинекология. 2014. № 9. С. 44–49.
9. Гладкая ВС., Агеева Е.С. Этиологические факторы хронического эндометрита, ассоциированного с бесплодием у женщин // Мать и дитя в Кузбассе. 2016. № 3. С. 54.
10. Серебренникова К.Г., Бабиченко И.И., Арутюнян Н.А., Кацалап С.Н., Акатьева А.С. Новое в диагностике и терапии хронического эндометрита при бесплодии // Гинекология. 2019. № 1. С. 15–16.
11. Рудакова Е.Б., Мозговой С.И. Хронический эндометрит: от современного диагностического подхода к оптимизации лечения // Лечащий врач. 2008. № 3. С. 10.
12. Лызикова Ю.А. Хронический эндометрит как причина нарушений репродуктивной функции у женщин // Проблемы здоровья и экологии. 2015. № 12. С. 12.
13. Плясунова М.П., Хлыбова С.В. Хронический эндометрит как одна из актуальных проблем в современной гинекологии // Вятский медицинский вестник. 2013. № 2. С. 15.
14. Радзинский В.Е., Петров Ю.А., Полина М.Л. Хронический эндометрит: современные аспекты // Кубанский научный медицинский вестник. 2017. Т. 24. № 5. С. 69–74.
15. Хадиношан Х., Аббасирад Н., Афлатуниан А., Исламі Г. Сывороточный уровень трансформирующего фактора роста бета 1 // Фертил Хум (Camb). 2015. № 1. С. 54–59.
16. Манухин И.Б., Семенцова Н.А., Митрофанова Ю.Ю., Лившиц Л.Ю. Хронический эндометрит и невынашивание беременности // Медицинский совет. 2018. № 7. С. 46–47.
17. Серебренникова К.Г., Арутюнян Н.А., Алехин А.И. Диагностика и клинические критерии хронического эндометрита // Гинекология. 2018. № 6. С. 54–55.
18. Бурчать Г.Л., Прата Дж. Патология женских половых путей // Черчилль Ливингстон. 2014. № 3. С. 326–348.
19. Кливленд Г.О., Ключаров И.В., Дзамуков Р.А., Цибулькина В.Н. Актуальные вопросы диагностики хронического эндометрита // Практическая медицина.2016. № 2. С 43–44.
20. Петров Ю.А. Гистероскопическая характеристика эндометрия женщин с ранними репродуктивными потерями // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2011. № S5. С. 243–247.
21. Серебренникова К.Г., Бабиченко И.И., Арутюнян Н.А., Кацалап С.Н., Акатьева А.С. Новое в диагностике и терапии хронического эндометрита при бесплодии // Гинекология. 2019. № 1. С. 15.
22. Бочков В.В., Плеханов А.Н., Цыденова Ц.Б. Хронический неспецифический эндометрит: эпидемиология, этиология, патогенез, факторы риска, диагностика // Вестник Бурятского государственного университета. Медицина и фармация. 2015. № 12. С. 31–32.
23. Петров Ю.А. Роль иммунных нарушений в генезе хронического эндометрита // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2011. № 6. С. 282.
24. Гречканев Г.О., Мотовилова Т.М., Качалина Т.С. Опыт комбинированного лечения хронического эндометрита с использованием озоно- и бактериофаготерапии // Биорадикалы и антиоксиданты. 2016. № 3. С. 167–168.
25. Унанян А.Л., Коссович Ю.М. Современные подходы к лечению больных с хроническим эндометритом // Архив акушерства и гинекологии им. В.Ф. Снегирева. 2016. Т. 3. № 3. С. 141–148.
26. Мальцева Л.И., Смолина Г.Р., Шарипова Р.И. Хронический эндометрит в практике акушера-гинеколога // Рос. вестн. акушера-гинеколога. 2015. № 5. С. 102.
27. Кулавский В.А., Мехдиева Ю.Д., Кулавский Е.В., Фролов А.Л. Современный взгляд на лечение хронического эндометрита // Медицинский вестник Башкортостана. 2015. № 4. С. 97.
28. Кобаидзе Е.Г., Падруль М.М., Черемискин В.П. Особенности анамнеза больных с хроническим эндометритом // Пермский медицинский журнал. 2015. № 2. С. 26.

СТАТЬИ

УДК 691.53

ГИПС И ГИПСОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ДРЕВНИХ СООРУЖЕНИЯХ КЫРГЫЗСТАНА И РАЗВИТИЕ ОТРАСЛИ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Абылов С.А., Ассакунова Б.Т.

Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исанова, Бишкек, e-mail: abylov.s@gmail.com

В статье приводится характеристика основных сырьевых материалов, используемых в древнем зодчестве Кыргызстана. Особое внимание уделено глиносырьевым изделиям, гипсовым вяжущим материалам, добавкам, используемым для модифицирования гипсовых вяжущих, и способам повышения их долговечности. Проводится краткий экскурс развития отрасли в советский и постсоветский период и возможность организации на современном этапе. Отмечается развитие отрасли в настоящее время, все позитивные стороны гипсового материала. Описывается наличие местного гипсового сырья и его доступность, гипсосодержащих некондиционных материалов, отходов производства, вовлечение которых в производство гипсовых изделий способствовало бы решению проблем спроса строительной отрасли в эколого- и теплоэффективных изделиях для жилищного строительства. Приводится анализ археолого-исторической, материаловедческой литературы об использовании доступных местных природных сырьевых материалов, таких как лессовый суглинок, известняк, песчаник, гипсовый камень, горные сланцы, древесина и сельскохозяйственные отходы, с помощью которых проводились отделочные, кладочные, штукатурные и другие виды строительных работ древними зодчими, накопленный ими огромный опыт совместного использования минерального и органического сырья позволял им тщательно обработать композиции, что подтверждается весьма плотной структурой, прочностью, долговечностью и высокой степенью сохранности древних строительных материалов.

Ключевые слова: сырье, древние сооружения, архитектура, глинозем, гипс, глина, известково-зольный цемент

GIPSUM AND GIPSUM MATERIALS IN ANCIENT STRUCTURES OF KYRGYZSTAN AND INDUSTRY DEVELOPMENT OF PRODUCTION

Abylov S.A., Assakunova B.T.

N. Isanov Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture, Bishkek, e-mail: abylov.s@gmail.com

The article describes the characteristics of the main raw materials used in the ancient architecture of Kyrgyzstan. Particular attention is paid to the alumina products, gypsum binders, additives used to modify gypsum binders, and ways to improve their durability. A brief excursion was on the development of the industry in the Soviet and post-Soviet period and the possibility of organizing at the present stage. Presented the statement of development of the industry at present time, all the positive aspects of gypsum material. It describes the availability of local gypsum raw materials and their availability, gypsum-containing substandard materials, production wastes, the involvement of which in the production of gypsum products would contribute to solving the problems of the demand of the construction industry in environmental and heat-efficient products for housing construction.The analysis of archaeological and historical material science literature on the use of available local natural raw materials such as loess loam, limestone, sandstone, gypsum stone, rock slates, wood and agricultural waste, with the help of which finishing, masonry, plastering and other types of construction work were carried out by ancient architects, their vast experience in the joint use of mineral and organic raw materials allowed them to carefully process the composition, which is confirmed by the very dense structure, strength, durability and a high degree of preservation of ancient building materials.

Keywords: raw materials, ancient, architecture, alumina, gypsum, clay, lime-ash cement

На территории Кыргызстана, как и во всей Центральной Азии, основным строительным материалом служило глинистое сырье [1]. Для широкомасштабного освоения природных запасов гипсового и гипсосодержащего сырья и в связи с повышением требований к качеству и эффективности гипсовых вяжущих, материалов и изделий является необходимым более тщательное изучение исходного сырья, технологии его переработки для придания гипсовым изделиям новых свойств.

Цель работы: исследование особенностей физико-механических свойств гипсосодержащего сырья республики, вовлечение его в строительную отрасль, что является актуальной проблемой.

Материалы и методы исследования

Простота в изготовлении, повсеместное наличие сырья сделали сырые глиняные изделия наиболее массовым стеновым материалом в странах Центральной Азии. Помимо доступности и отличительных теплофизических свойств, сырцовые изделия характеризовались и достаточной прочностью и долговечностью, что указывает на то, что древние строители хорошо

понимали экологическую чистоту глиносырцовых изделий, знали методы придания им прочности. Лессовидные суглинки использовались и в качестве вяжущего вещества [1]. Известно использование в древних строительных сооружениях и других видов вяжущих веществ.

Так, об использовании гипсовых и смешанных известково-зольных вяжущих в древности на территории Средней Азии подверждают исследования материалов набережной скалы старого Термеза [1].

Микроскопическими исследованиями было установлено, что в качестве вяжущего был использован известково-зольный цемент, где, судя по длинноволокнистому строению угольных остатков, была применена высокоактивная зола камыша и крупная известь, отдельные зерна которых достигали 8 мм, но наиболее часто встречаются зерна размеров 1–2 мм.

Известково-зольные цементы приблизительно с IX в. использовались в фундаментах сооружений. Высококачественный известково-зольный цемент с добавкой гипса был применен в кладке колодца Сардобы XI–XII вв. Аль-Таджмахал в Туркмении [1].

Известно об использовании гипса и в более ранний период.

Жилые культовые, хозяйственные помещения поселения Кайрагач (Юго-Западный Кыргызстан, I–V вв. н.э.) построены из пахсовых блоков и сырцовых кирпичей в разных технических приемах. Здесь же сохранились остатки цветной росписи, глиняные скульптуры культового назначения, декоративные столики из алебастра [1].

При обследовании материалов мавзолея Хакими Термези (IX в.) установлено, что гурхана и летняя мечеть, закрыты кровлей и декорированы резьбой по гипсу. В составе резьбы имеются две основные разновидности материала: гипсовая и гипсопесчаная [2].

В составе гипсовых штукатурок выявлены несколько разновидностей гипса.

В первом типе раствора использовался гипс с довольно плотной структурой, белого, слегка грязноватого цвета, с легкой желтизной. Изредка попадаются крупинки красного цвета – песчинки, окрашенные оксидами железа в рыжевато-красные тона, и частицы золы.

Раствор состоит из 95–96 % чистого двуводного гипса и 4–5 % песчанистых примесей и золы.

Цвет краски и высокое содержание оксида железа показывает на использование железа.

Штукатурка портала, разделка под кирпичик – наиболее поздняя (XIV–XV вв.) представляет плотный гипс, тонкозернистый и мелкопористый.

Имеются более волокнистые включения гипса – пережог.

Химический состав показывает на то, что гипс обожжен при повышенной температуре (очень низкие п.п.п.). Вероятно, результат печного обжига, так как при обжиге в печах всегда получается некоторая доля недожога нормального полуводного гипса и пережога, где гипсовый камень обожжен намертво. Пережог не был отделен, а пошел вместе со всем камнем. В материале содержится 65–96 % гипса, содержащего на 12 % меньше кристаллизационной воды. Примеси составляет 4–5 %.

В другом растворе используется гипс рыхлого строения с красными включениями (0,5 мм в сечении). Это гипс с естественной примесью лесса, обожженного при температуре 300–400 °С.

Имеется смесь гипса 86 % с примесью 14 % лесса. Обжиг гипса нормальный. Он близок к ранним гипсам (I–X вв.), когда применялся гипс, не очищенный от естественных пропластков лесса, окрашивавшегося при обжиге в грязновато-красные тона.

В Средней Азии и Семиречье широко использовался ганч – смесь алебастра и лесса. В ганч добавляли порошок широко распространенного растения шереш, из которого добывали клей [2].

Шереш (*tremurussaltaicus*) сушился, растирался в порошок и незначительными дозами, от 0,3 до 2–3 г на 12–16 замеса, добавлялся в раствор.

Основное действие шереша сказывалось на изменении кристаллов гипса. Игольчатые кристаллы принимали октаэдрические формы. Добавление шереша увеличивало пластичность, быстроту схватывания, сопротивление.

Добавками к ганчу служили озокерит – горный воск и песок [3].

Помимо свойств вяжущего ганч использовался как антисейсмическая масса.

Древние мастера использовали глину и как антисейсмическую подушку.

В жилых постройках VII в. (Красная Речка) фундаментом служит набивной дувал (пасха) в виде глиняных блоков 1×1×1,2 м. Однако кладка глиняными блоками прерывается полосками кладки из сырцового кирпича (2–3 ряда) на ганчевом растворе. Учитывая пластические свойства ганча, автор рассматривает это как создание своеобразного амортизатора [1].

В качестве гидроизоляционной прослойки использовался ганч с примесью древесной золы (арча, тянь-шанская ель). Такие прослойки толщиной 5–6 см с успехом вы-

держивают большой поток воды и широко использовались для обмазки полов в бане. Они были вскрыты при раскопке древней бани XII в. в Оше, Таразе. Такие прослойки в кладке успешно противостояли солонцеванию кирпичей фундамента и стен [1].

Ганч широко использовался и как отделочный материал. В постройках VII–VIII вв. на Ак-Бешиме, Краснореченском городище найдены остатки ганчевой штукатурки со следами цветной росписи. Декоративные свойства ганча приобретают особое значение в архитектуре X–XII вв. в период расцвета искусства резьбы по ганчу. Сложнейшие композиции из геометрического орнамента – «гирихи», эпиграфика, растительный орнамент, раскрывают огромные возможности фактурной разработки плоскостей. Резной ганч преимущественно используется в интерьерах зданий (мавзолей Шах-Фазиль), а также на фасадах в комбинации с декоративной кирпичной кладкой.

Выделяют несколько видов ганча. «Ганч-хак» – наиболее грубый по составу ганчевый раствор из алебастра и глины, идущий на черновую штукатурку поверхности стены. В зависимости от того, какая поверхность предназначается для покрытия ганч-хаком при его изготовлении, берут различное соотношение глины и алебастра.

Из хорошо обожженного, но не совсем чистого от копоти алебастра приготовляют «тез-ганч», который имеет свойство очень быстро схватываться. Для его получения алебастр смешивают с водой и тотчас же пускают в употребление. Из-за быстрой схватываемости он не пригоден для резьбы, но зато незаменим при кладке арок и сводов.

Белый, очищенный от копоти алебастр, просеянный на тонком сите – «гуль-ганч» идет на высококачественную штукатурку, отливку, резьбу и т.д. Добавка в алебастр «шереша» также улучшила его пластические свойства и прочность. Среди добавок к «гуль-ганчу» были распространены также горный воск и песок [1, 3].

Приведенные данные показывают, каким глубоким опытом использования гипсовых вяжущих и изделий в строительстве культовых, гидротехнических и жилищных сооружений распологают строители центральноазиатских регионов.

Особенно следует отметить широкое использование ганча в различных целях (гипса с глиной).

В качестве гидроизоляционной прослойки ганч использовался с примесью древесной золы, что показывает высокую водостойкость материала.

Отделочные растворы, используемые в декоре древних культовых сооружений, пережили многие тысячелетия и сохранились по нынешнее время (мавзолей Шах-Фазиль), что показывает совместимость и ценность в экологическом плане повсеместно распространенных сырьевых материалов (глины и гипса) [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Главная задача промышленности строительных материалов XXI в. – обеспечение населения ресурсосберегающими экологически чистыми и долговечными материалами и изделиями. Строительные материалы на основе гипсовых вяжущих веществ, характеризуется быстрым и безусадочным твердением без тепловлажностной обработки, биологической стойкостью, небольшой плотностью, низкой теплопроводностью, а также высокими архитектурно-декоративными и гигиеническими качествами.

Гипсовые материалы и изделия отвечают требованиям ресурсо- и энергосбережения, производство которых отличается коротким технологическим циклом, несложностью переработки сырья с незначительным расходом топлива и энергии, в 4,5 раза меньшим, чем при производстве портландцемента. По химическому составу гипс нетоксичен, при его переработке в окружающую среду не выделяется CO_2, поэтому гипсовые вяжущие не являются аллергенами и не вызывают заболевания силикозом. Поэтому в зарубежных странах за последние 20–30 лет возросло применение гипсовых материалов и изделий на единицу объема строительных работ, например в США и Япония в 2,5 и 1,8 раз соответсвенно.

Наиболее перспективным решением ресурсо- и энергосбережения является комплексное использование доступного, дешевого, часто невостребованного местного сырья, к которому относятся гипсосодержащие природные материалы (глиногипса, глинокарбоната гипса) или отходы других производств (сульфогипс).

На территории Кыргызстана имеется более 100 месторождений гипсового сырья. Однако эксплуатируется 2–3 месторождения (Чангырташское, Бактерекское) [4, 5].

Одним из гипсосодержащих отходов является сульфогипс, который применяется во многих развитых странах для производства гипсовых строительных материалов и изделий.

Сульфогипс (сернистый гипс) возникает в виде тонкодисперсного влажного порошка при очистке от сернистых газов (SO_3) продуктов сгорания природного топлива (каменный и бурый уголь, мазут) в промышленных топках на теплоэлектростанциях.

Обессеривание происходит путем прохождения промышленных газов через известняковую или известковую водную суспензию.

В республике имеются многотоннажные отходы золошлакового сырья, отходы камнепиления (травертина), горелых пород, отходов растительного сырья, использование которых для модифицирования гипсовых вяжущих способствует повышению свойств гипсовых и гипсосодержащих композитов.

В Кыргызской Республике в жилищном и гражданском строительстве широко используются гипсовые вяжущие и изделия, ввозимые из ближнего и дальнего зарубежья, хотя имеются предпосылки для организации собственной отрасли гипсовых материалов – это наличие сырья во всех регионах республики, достаточный опыт по производству и применению гипсовых вяжущих и изделий. Так, в советский период развития страны гипсовые вяжущие выпускались в г. Ош, Джалал-Абад, Фрунзе.

В 1970-х гг. на комбинате производственных предприятий (КПП) г. Фрунзе впервые было широко освоено производство изделий для сельскохозяйственного строительства (животноводческие фермы, кошары и т.д.) на основе гипсоцементнопуццолановых вяжущих (ГЦПВ) [5], приоритет создания которых принадлежит советским ученым – А.В. Волженскому с его ученикам [5]. Сооружения, построенные из указанных изделий, сохранились и поныне, несмотря на жесткие условия их эксплуатации.

В 1990-е гг. был построен гипсовый завод в с. Куланак Нарынской области, где было освоено изготовление гипса марки Г-6, Г-7 на основе сырья Бактерекского месторождения, который относится к сырью I сорта. Последние 2–3 года осваивается выпуск гипсовых изделий на предприятии ОсОО «Мега Юнион Индастри» в с. Достук Джалал-Абадской области [6].

Анализ отечественного и зарубежного опыта применения гипсосодержащих композитов в строительстве показал, что материалы и изделия на их основе в наибольшей степени соответствуют требованиям современной архитектуры и строительной практики. Решающим фактором является качество и стоимость материала, поэтому расширение выпуска гипсовых изделий с использованием местного некондиционного сырья и техногенных отходов является актуальной проблемой.

Выводы

1. Выявлены широкое использование и сохранность гипсосодержащих природных материалов (глиногипса, глинокарбоната гипса) при возведении и отделке древних исторических сооружений Кыргызстана.

2. Установлена возможность производства и использования сульфогипса (сернистого гипса, полученный как отход продуктов сгорания природного топлива) при производстве гипсовых изделий, что позволит получить эколого- и теплоэффективные изделия с повышенными эксплуатационными характеристиками для жилищного строительства.

Список литературы

1. Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т., Иманкулов Дж.Дж. Древние строительные материалы в зодчестве Кыргызстана. Бишкек: Илим, 2007. 180 с.

2. Иманкулов Д.Д., Бектемирова З.А. Минареты Средней Азии // Вестник КРСУ. 2019. № 6. С. 15–19.

3. Иманкулов Дж.Дж. Мавзолей Шах-Фазиль – выдающийся памятник раннеисламской архитектуры Кыргызстана. Бишкек: Издат. дом «Кыргызстан», 2002. 36 с.

4. Боронбаев Э.К., Иманкулов Д.Д., Абдылдаева А.М. Исследование теплового режима Мавзолея Шах-Фазиль // Вестник КГУСТА. 2017. № 1 (55). С. 181–187.

5. Молдалиева И.Т. История изучения орнаментов Мавзолея Шах-Фазиль // Вестник КГУСТА. 2017. № 4 (58). С. 29–33.

6. Горячева В.Д. Городская культура Тюркских каганатов на Тянь-Шане (середина VI – начала XIII в.). Бишкек: КРСУ, 2010. 313 с.

УДК 614.841.44

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Адамян В.Л., Сергеева Г.А., Забитов А.Ш., Масявра А.А.

Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, e-mail: Vla1345@yandex.ru

В нефтехимической промышленности обстановка с пожарами является сложной и нестабильной. Устаревшая техника и аппаратура на нефтеперерабатывающих заводах не позволяет в полную мощь перерабатывать поступающее на заводы сырье. На вводимых в строй новых технологических линиях также не исключается возможность развития пожара, причиной которого могут служить разные факторы. Для локализации пожаров требуется расчет силы и средств, выполняемый в следующих случаях: при введении расчетного количества стволов в зону пожара; при определении масштабов пожара; при разработке тактики тушения пожара; при сравнительном анализе методов тушения пожаров; при оценке действий руководителя тушения пожара. Приводится расчет сил и средств при тушении пожара, возникшего при хранения бензина авиационного неэтилированного, маркировкой по октановому числу 70 в резервуаре понтонной конструкции РВС-2000. Определено необходимое количество техники для охлаждения горящего и соседних резервуаров, количество генераторов пены средней кратности (ГПС) на тушение горящего резервуара. Рассчитано количество отделений основного назначения При задействовании 15 и более отделений пожару присваивается 5-я категория.

Ключевые слова: технологические линии, пожарная безопасность, резервуар, бензин, отделение, генератор пены, термит, пирофорные отложения

FIRE SAFETY OF CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

Adamyan V.L., Sergeeva G.A., Zabitov A.Sh., Masyavra A.A.

Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, e-mail: Vla1345@yandex.ru

In the petrochemical industry, the fire situation is complex and unstable. Outdated machinery and equipment at oil refineries do not allow the full processing of raw materials supplied to the plants. The possibility of developing a fire, which can be caused by various factors, is also not ruled out on the new technological lines being commissioned. To localize fires, the calculation of force and means is required, performed in the following cases: when entering the estimated number of barrels in the fire zone; when determining the extent of a fire; when developing fire-fighting tactics; in a comparative analysis of methods of extinguishing fires; when evaluating the actions of the fire extinguishing Manager. The calculation of forces and means for extinguishing a fire that arose during the storage of unleaded aviation gasoline by marking with an octane number of 70 in the tank of the pontoon structure RVS-2000 is given. The required number of main-purpose fire engines for cooling the burning and neighboring tanks, the number of medium-sized foam generators (GPS) for extinguishing the burning tank was determined. The number of main-purpose compartments is calculated. When 15 or more compartments are activated, the fire is assigned the 5th category.

Keywords: technological lines, fire safety, tank, gasoline, compartment, foam generator, termite, pyrophoric deposits

Решая задачи, определенные Федеральным Законом «О пожарной безопасности», на всех предприятиях нефтехимической промышленности предпринимаются меры по улучшению обстановки с пожарами [1–3]. Изменяющееся экономическое положение требует изыскивать новые подходы к решению вопросов противопожарной защиты объектов и предприятий различных форм собственности, укрепления материально-технической базы противопожарной службы, сохранение штатной численности подразделений государственной противопожарной службы (ГПС).

Вместе с тем в нефтехимической промышленности обстановка с пожарами остается сложной и нестабильной. Устаревшая техника и аппаратура на нефтеперерабатывающих заводах не позволяет в полную мощь перерабатывать поступающее на заводы сырье. В этой связи, например, проведение нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан планируется завершить строительством самого крупного в России нефтеперерабатывающего завода (НПЗ), который будет соответствовать нормам развитых экономик мира. В основу всех процессов будут положены современные технологические разработки [4]. И тем не менее не исключается возможность развития пожара, причиной которого могут служить разные факторы.

Обычно причинами возникновения пожаров на нефтеперерабытывающих и нефтехимических предприятиях являются [5]:

– проведение работ с открытым огнем;

– проведением работ, сопровождающихся появлением искры;

– статическое электричество;

– пирофорные отложения.

Для локализации пожаров требуется расчет числа пожарных и техники, принимающих участие в ликвидации огня.

Материалы и методы исследования

Для примера приведем расчет сил и средств при тушении пожара, возникшего при хранении бензина авиационного неэтилированного, маркировкой по октановому числу 70 в резервуаре понтонной конструкции РВС-2000. Плотность бензина составляет ρ = 750 кг/м^3, удельная массовая скорость выгорания равна $v_{м}^{уд} = 0{,}053\ кг/(м^2 \cdot с)$.

В зоне возможного теплового воздействия находятся 3 резервуара.

Исходные данные для расчёта: два РВС-2000 и два – РВС-1000 нормативная интенсивность подачи раствора пенообразователя на тушение нефти и нефтепродуктов с $T_{кип.} = 28$ °С и ниже и ГЖ, нагретых выше $T_{всп.}$, $I_{тр} = 0{,}08\ л/(м^2 \cdot с)$;

нормативная интенсивность подачи воды на охлаждение горящего резервуара стволами от передвижной пожарной техники $I_{охл}^{г} = 0{,}8\ л/м \cdot с$;

нормативная интенсивность подачи воды на охлаждение соседних резервуаров стволами от передвижной пожарной техники $I_{охл}^{г} = 0{,}3\ л/м \cdot с$;

расчётное время тушения равно 15 мин.

Геометрические характеристики РВС-1000:

высота – 9 м;

диаметр – 12 м;

площадь зеркала горючего – 120 м^2;

периметр – 39 м.

Геометрические характеристики РВС-2000:

высота – 12 м;

диаметр – 15 м;

площадь зеркала горючего – 181 м^2;

периметр – 48 м.

Результаты исследования и их обсуждение

Определяем время свободного развития пожара [6]

$$T_{св.р.} = T_{обн} + T_{сооб} + T_{сб.} + T_{сл.} + T_{бр}, \quad (1)$$

где $T_{св.р.}$ – время свободного развития пожара на момент прибытия подразделения;

$T_{обн}$ – время развития пожара с момента его возникновения до момента его обнаружения (5 мин);

$T_{сооб}$ – время сообщения о пожаре в пожарную охрану (если телефон находится в другом помещении $T_{сооб} = 2$ мин;

$T_{сб.} = 1$ мин – время сбора личного состава по тревоге;

$T_{сл.}$ – время следования пожарного подразделения (2 мин на 1 км пути);

$T_{бр}$ – время боевого развертывания (5 мин).

$$T_{св.р.} = 5 + 2 + 1 + 4 + 5 = 17 \text{ мин.}$$

Уровень бензина, на который опустится при горении за 18 мин, определяем по формуле

$$\Delta h = \frac{m}{\rho \cdot S} = \frac{v_{м}^{уд} \cdot T_{св.р.} \cdot S}{\rho \cdot S} = \frac{v_{м}^{уд} \cdot T_{св.р.}}{\rho}, \quad (2)$$

где S – площадь зеркала жидкости.

$$\Delta h = \frac{0{,}053 \cdot 17 \cdot 60}{750} = 0{,}0720 \text{ м} = 7{,}2 \text{ см.}$$

Определяем требуемое количество стволов РС-70 с насадками 19 мм на охлаждение горящего резервуара

$$N_{ств}^{охл.гор.} = \frac{P_p \cdot I_{тр}}{q_{ств.}}, \quad (3)$$

где $P_p = 39$ м – периметр резервуара;

$q_{ств.} = 7{,}4$ л/с при давлении 0,4 МПа – расход ствола;

$$N_{ств}^{охл.гор.} = \frac{48 \cdot 0{,}8}{7{,}4} = 5{,}2 \text{ шт.}$$

Принимаем 6 стволов РС-70 с диаметром насадка 19 мм на охлаждение горящего резервуара.

Находим соседние резервуары, имеющие разрывы с горящим резервуаром до двух нормативных разрывов. Под нормативным разрывом предполагается 1,5 диаметра из числа находящихся в группе.

$$r = 1{,}5 \cdot 15 = 22{,}5 \text{ м.}$$

Определяем количество стволов на охлаждение соседнего резервуаров РВС-2000:

$$N_{ств}^{охл.сосед.} = \frac{0{,}5 \cdot P_{р/с} \cdot I_{тр/с}}{q_{ств.}}, \quad (4)$$

где $P_{р/с} = 48$ м – периметр соседнего резервуара;

$$N_{ств}^{охл.сосед.} = \frac{0{,}5 \cdot 48 \cdot 0{,}3}{7{,}4} = 0{,}93 \text{ шт.}$$

Принимаем 2 ствола РС-70 с диаметром насадка 19 мм на охлаждение соседнего резервуара РВС-2000 с периметром 48 м.

Определяем количество стволов на охлаждение соседних резервуаров РВС-1000:

$$N_{ств}^{охл.сосед.} = \frac{0{,}5 \cdot 39 \cdot 0{,}3}{7{,}4} = 0{,}8 \text{ шт.}$$

Принимаем по 2 ствола РС-70 с диаметром насадка 19 мм на охлаждение двух соседних резервуаров РВС-1000 с периметром 39 м.

Из тактических соображений принимаем на охлаждение РВС-2000 семь РС-70, на охлаждение двух соседних РВС-1000 четыре РС-70 (по два на каждый резервуар и три РСК-50 на защиту л/с.

Определяем общее количество стволов на охлаждение:

$$N_{\text{ств}}^{\text{общ.охл.сосед.}} = 6 + 2 + 4 + 3 = 15 \text{ стволов.}$$

4. Определяем количество генераторов пены средней кратности (ГПС), необходимые для тушения горящего резервуара:

$$N_{\text{гпс}} = \frac{S_{\text{зер.}} \cdot I_{\text{тр.}}}{q_{\text{ств}}}, \quad (5)$$

где $S_{\text{зер.}}$ – площадь зеркала резервуара;

$I_{\text{тр.}} = 0{,}08 \, \text{л}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ – требуемая интенсивность подачи раствора для ЛВЖ; $q_{\text{ств}} = 6$ л – расход 4–6 %-ного раствора пенообразователя типа ПО-1Д из ГПС-600.

$$N_{\text{гпс}} = \frac{181 \cdot 0{,}08}{6} = 2{,}4 \text{ шт.} \quad (6)$$

Принимаем на тушение горящего резервуара 3 пеногенератора ГПС-600.

5. Определяем требуемое количество пенообразователя:

$$W_{\text{по}} = N_{\text{гпс}} \cdot q_{\text{ств.ПО}} \cdot \tau_p \cdot 60 \cdot K_{\text{з}}, \quad (7)$$

где $q_{\text{ств.ПО}} = 0{,}36$ л – расход ствола по пене для одного ГПС-600;

$\tau_p = 15$ мин – расчетное время тушения;

$K_{\text{з}} = 3$ – коэффициент запаса пенообразователя.

$$W_{\text{по}} = 3 \cdot 0{,}36 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 2916 \text{ л.}$$

6. Определяем общий фактический расход воды

$$Q_{\text{вод.}} = Q_{\text{охл.}} + Q_{\text{гпс}}, \quad (8)$$

$$Q_{\text{охл.г.р.,с.р.}} = 7 \cdot 7{,}4 + 4 \cdot 7{,}4 + 3 \cdot 3{,}5 = 91{,}9 \text{ л/с.}$$

Расход ствола ГПС-600 по воде составляет 5,64 л/с.

$$Q_{\text{гпс.}} = 3 \cdot 5{,}64 = 16{,}9 \text{ л/с,}$$

$$Q_{\text{общ.}} = 91{,}9 + 16{,}92 = 108{,}8 \text{ л/с.}$$

Объект должен быть обеспечен водой для тушения данного пожара и использования всех рассчитанных приборов.

7. Определяем необходимое количество воды для проведения пенной атаки и охлаждения горящего и соседних резервуаров:

$$W_{\text{в}}^{\text{туш}} = N_{\text{гпс}}^{T} \cdot q_{\text{ств}}^{\text{по}} \cdot (\tau_{\text{н}} \cdot 60) \cdot K_{\text{з}}, \quad (9)$$

$$W_{\text{вод.охл.гор.рез.}} = N_{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств}}^{\text{по}} \cdot (\tau_{\text{н}} \cdot 60) \cdot K_{\text{з}}, \quad (10)$$

где $N_{\text{гпс}}^{\text{Т}}$ – количество пеногенераторов;

$q_{\text{ств}}^{\text{по}}$ – расход воды (в растворе) одного ГПС, л/с.;

$\tau_{\text{н}}$ – нормативное время тушения пожара, мин,

$V_{\text{в}}$ – необходимый объем воды, л;

$$W_{\text{в}}^{\text{общ}} = V_{\text{в}}^{\text{туш}} + V_{\text{в}}^{\text{охл}}, \quad (11)$$

$$W_{\text{вод.охл.гор.рез.}} = N_{\text{гор.}}^{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств.}} \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 =$$

$$= 6 \cdot 7{,}4 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 119{,}9 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{вод.охл.сос.рез.}} = N_{\text{охл.сос.РВС}}^{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств.}} \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 =$$

$$= 6 \cdot 7{,}4 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 119{,}9 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{вод.охл.заш.техн.}} = N_{\text{тех.без.}}^{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств.}} \cdot 60 \cdot 45 =$$

$$= 3 \cdot 3{,}5 \cdot 60 \cdot 45 = 28{,}3 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{вод.}}^{\text{туш.}} = N_{\text{ГПС.}}^{\text{ств}} \cdot q_{\text{ств.}} \cdot 60 \cdot T \cdot K_{\text{з}} =$$

$$= 3 \cdot 5{,}64 \cdot 60 \cdot 15 \cdot 3 = 45{,}7 \text{ м}^3,$$

$$W_{\text{в}}^{\text{общ.}} = 119{,}9 + 119{,}9 + 28{,}3 + 45{,}7 = 313{,}8 \text{ м}^3.$$

Для тушения пожара в одном резервуаре РВС-2000 необходимо 313,8 м^3 воды.

8. Определяем требуемое количество техники для подачи огнетушащих веществ на тушение пожара:

$$N_{\text{ПА}} = \frac{Q_{\text{ф}}^{\text{туш.}}}{0{,}8 \cdot Q_{\text{нас.}}}, \quad (12)$$

где $N_{\text{ПА}}$ – количество пожарных автомобилей основного назначения;

$Q_{\text{ф}}^{\text{туш.}}$ – фактический расход на тушение от приборов ГПС-600;

$Q_{\text{нас.}}$ – производительность пожарного насоса;

0,8 – коэффициент износа насоса.

$$N_{\text{ПА}} = \frac{16{,}9}{0{,}8 \cdot 40} = 1 \text{ пожарный автомобиль}$$

9. Определяем необходимое количество техники на охлаждение горящего и соседних резервуаров:

$$N_{\text{ПА}} = \frac{Q_{\text{ф}}^{\text{общ.}}}{0{,}8 \cdot Q_{\text{нас.}}}, \quad (13)$$

$$N_{\text{ПА}} = \frac{Q_{\text{ф}}^{\text{охл.+т.,с.р.}}}{0{,}8 \cdot Q_{\text{нас.}}},$$

$$N_{\text{ПА}} = \frac{91{,}9}{0{,}8 \cdot 40} = 3 \text{ пожарных автомобиля.}$$

Таким образом, для охлаждения резервуаров и тушения пожара в резервуаре РВС-2000 с понтонной конструкцией необходимо 4 – АЦ, 1 – АЛ.

10. Определяем необходимое количество пожарных для ведения оперативно-тактических действий на пожаре.

Общая численность личного состава определяется по формуле

$$N_{\text{л.с.}}^{\text{общ.}} = N_{\text{л.с.}}^{\text{туш.}} \cdot N_{\text{ств.}}^{\text{туш.}} + N_{\text{л.с.}}^{\text{защ.}} \cdot N_{\text{ств.}}^{\text{защ.}} + N_{\text{л.с.}}^{\text{охл.}} \cdot N_{\text{ств.}}^{\text{охл.}},$$

где $N_{\text{л.с.}}^{\text{туш.}}$ – количество работающих на тушение;
$N_{\text{ств.}}^{\text{туш.}}$ – количество стволов, поданных на тушение пожара;
$N_{\text{л.с.}}^{\text{защ.}}$ – количество работающих на защите;
$N_{\text{ств.}}^{\text{защ.}}$ – количество стволов, работающих на защите объекта;
$N_{\text{л.с.}}^{\text{охл.}}$ – количество работающих на охлаждение;
$N_{\text{ств.}}^{\text{охл.}}$ – количество стволов, работающих на охлаждение соседних резервуаров.

$$N_{\text{л.с.}}^{\text{общ.}} = 5 \cdot 3 + 3 \cdot 3 + 14 \cdot 3 = 66 \text{ человек.}$$

11. Определяем

$$N_{\text{отд.}} = \frac{N_{\text{л.с.}}}{4}, \qquad (14)$$

где $N_{\text{л.с.}}$ – требуемая численность личного состава;

4 – среднее количество личного состава, выезжающего на автоцистернах.

$$N_{\text{отд.}} = \frac{66}{4} = 17 \text{ отделений.}$$

При задействовании 15 и более отделений пожару присваивается 5-я категория.

Выводы

1. Время свободного развития пожара составляет 17 мин.

2. Общее количество стволов, необходимых для охлаждения резервуаров составляет 14 штук.

3. Объект должен быть обеспечен водой для тушения данного пожара и использования всех рассчитанных приборов. Общее количество воды на тушение пожара и охлаждение резервуаров составляет 313,8 м^3.

4. Требуемый объем пенообразователя $W_{\text{по}} = 2916$ л.

5. Для охлаждения одного горящего резервуара (РВС-2000) и трех соседних резервуаров (одного РВС-2000, двух РВС-1000) и тушения пожара в резервуаре РВС-2000 понтонной конструкции для хранения бензина необходимо пожарных автомобилей основного назначения: 4 – АЦ, 1 – АЛ.

Список литературы

1. Адамян В.Л. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. СПб.: Издательство «Лань», 2018. 176 с.

2. Адамян В.Л. Снижение пожарной и промышленной опасности технологических процессов // Перспективы науки. 2015. № 10. С. 72–74.

3. Информация об авариях на опасных производственных объектах // Официальный сайт Ростехнадзор [Электронный ресурс]. URL: http://www.gosnadzor.ru (дата обращения: 22.01.2020).

4. Энергетика. Нефть и газ. Сайт для поставщиков. [Электронный ресурс]. URL: https://energybase.ru/news/articles/oil-pipeline-eastern-siberia-pacific-ocean-brought-to-maximum-capacity-2019-11-27 (дата обращения: 22.01.2020).

5. Сучков В.П. Развитие пожара в нефтехранилищах нефтепродуктов // Пожарное дело 1994. № 11. 376 с.

6. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. М.: ГУГПС – ВНИИПО-МИПБ, 1999. 82 с.

УДК 643.01

АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЯЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНЫХ УСЛУГ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО РЕЙТИНГА

Белая М.Н., Кравцова С.Е., Гутовская И.В.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, e-mail: belaya_079@mail.ru, sekravtsova@sevsu.ru, inna890@mail.ru

В статье авторами поднят один из актуальных вопросов жилищно-коммунального хозяйства – качество жилищно-коммунальных услуг. Вопросам качества жилищно-коммунальных услуг посвящено достаточно много научных трудов, разработаны и утверждены процедуры оценки качества жилищно-коммунальных услуг в различных регионах Российской Федерации, но проблема оценки качества данных услуг с учетом ожиданий, потребностей и требований потребителей на государственном уровне до сих пор является актуальной. В работе описаны сложности обеспечения качества жилищно-коммунальных услуг, отражающиеся, во-первых, в дифференциации потребностей потребителей к требованиям оцениваемых характеристик и к уровню качества, во-вторых, в отсутствии единой методики оценки качества жилищно-коммунальных услуг, учитывающей многогранность потребностей потребителей. Проведен анализ основных методик и (или) процедур оценки качества жилищно-коммунальных услуг, направленных на формирование потребительского рейтинга. На основании анализа определены схожие и различные показатели, требования, характеризующие качество жилищно-коммунальных услуг. В анализируемых работах в большей степени представлены различные критерии оценивания, системы оценивания, алгоритмы оценивания. В статье отмечена необходимость разработки единой номенклатуры показателей качества, единых процедур оценки показателей качества жилищно-коммунальных услуг, что позволит проводить сравнительную оценку среди управляющих организаций.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, жилищно-коммунальные услуги, качество, особенности услуг, несоответствие, оценивание качества

ANALYSIS OF PROCEDURES FOR ASSESSING THE QUALITY OF MANAGEMENT ORGANIZATIONS OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES FOR THE FORMATION OF CONSUMER RATING

Belaya M.N., Kravtsova S.E., Gutovskaya I.V.

Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: belaya_079@mail.ru, sekravtsova@sevsu.ru, inna890@mail.ru

The authors raised one of the pressing issues of housing and communal services – the quality of housing and communal services. Quite a lot of scientific works have been devoted to the issues of the quality of housing and communal services, procedures for assessing the quality of housing and communal services in various regions of the Russian Federation have been developed and approved, but the state problem still remains to assess the quality of these services, taking into account the expectations, needs and requirements of consumers, at the state level then it is relevant. The paper describes the difficulties of ensuring the quality of housing and communal services, which are reflected: firstly, in differentiating the needs of consumers to the requirements of the evaluated characteristics and to the quality level, and secondly, in the absence of a unified methodology for assessing the quality of housing and communal services, taking into account the multifaceted nature of consumer needs. The analysis of the main methods and (or) procedures for assessing the quality of housing and communal services aimed at forming a consumer rating is carried out. Based on the analysis, similar and different indicators, requirements characterizing the quality of housing and communal services are determined. In the analyzed works, to a greater extent, various assessment criteria, assessment systems, assessment algorithms are presented. The article notes the need to develop a unified nomenclature of quality indicators, unified procedures for assessing the quality indicators of housing and communal services, which will allow a comparative assessment among management organizations.

Keywords: housing and utilities, housing and communal services, quality, service features, inconsistency, quality assessment

Жилищно-коммунальные услуги (ЖКУ) – это услуги, характеризующие проведение, поддержание и восстановление технического и санитарно-гигиенического состояния объектов коммунального назначения, в том числе зданий, сооружений, оборудования и коммуникаций. Любые виды услуг, в том числе ЖКУ, можно оценивать, контролировать и ими управлять. Оценивание качества услуг – это сравнение полученного значения с базовым (принятым) значением по каждому оцениваемому показателю качества. ЖКУ можно отнести к «сложному» объекту, как стандартизации, так и квалиметрии, так как данные услуги по своей сути включают различный набор услуг. Следовательно, во-первых, для оценки качества услуг, необходимо определить перечень показателей качества ЖКУ с целью разработки единой номенклатуры показателей качества, при использовании методов стандартизации (систематизации, селекции и симпли-

фикации), во-вторых, совершенствовать процедуру (алгоритм) оценки качества при использовании принципов и методов квалиметрии и, в-третьих, разработать методику нормирования базовых значений показателей качества ЖКУ, при использовании нечетких множеств.

Цель исследования: проведение анализа существующих процедур оценки качества ЖКУ для формирования единого подхода к процедуре оценки уровня качества ЖКУ.

Для достижения цели исследования целесообразно провести сравнительный анализ существующих процедур оценки качества ЖКУ с целью систематизации требований и показателей качества, что позволит, с учетом принципов квалиметрии, систематизировать перечень показателей качества ЖКУ.

Материалы и методы исследования

Одним из острых вопросов при предоставлении жилищно-коммунальных услуг является качество данных услуг. Вопросам оценки качества ЖКУ посвящено достаточно много трудов, например работы авторов: А.Н. Чотчаева [1], А.Ю. Бутырина, А.В. Чернышева, К.П. Грабового [2], Л.В. Акифьевой [3], С.Ю. Гузалевой, О.В. Любовой [4], А.В. Солдатовой, Е.В. Мишкиной [5], Л.В. Акифьевой, А.М. Озиной [6] и др.

В настоящее время разработаны и утверждены методики (процедуры) оценки качества ЖКУ в различных регионах Российской Федерации, но проблема оценки качества ЖКУ с учетом ожиданий (потребностей, требований) потребителей ЖКУ, на государственном уровне до сих пор является актуальной.

Сложность обеспечения качества ЖКУ заключается в том, что, во-первых, существует дифференциация потребностей потребителей ЖКУ к требованиям (к оцениваемым характеристикам, т.е. к показателям качества) и уровню качества; во-вторых, отсутствует методика оценки качества, учитывающая все потребности потребителей товариществ собственников жилья, т.е. нет единой номенклатуры показателей качества, нет единых процедур оценки данных показателей качества.

Минимизация или устранение возможных несоответствий необходимы для проведения исследований, направленных на выявление факторов, влияющих на качество ЖКХ. Что позволит, при использовании принципов и методов квалиметрии, разработать номенклатуру показателей качества ЖКУ для оценки их качества со стороны потребителей в условиях управления товариществом собственников жилья.

Следовательно, объектом исследования является процедура оценки качества управляющих организаций ЖКУ. Объект исследования рассматривается одновременно как объект стандартизации и объект квалиметрии.

Результаты исследования и их обсуждение

Особенностью оценки качества предоставления услуг управляющей компанией ЖКХ является то, что в основном применяется совокупность социально-экономических показателей, а не классический перечень показателей качества, регламентированный ГОСТ Р 52113-2014 Услуги населению. Номенклатура показателей качества услуг.

С 2007 г. началось формирование требований к услугам по управлению многоквартирными домами (МКД), а с 2011 г. и по настоящее время проводятся работы по разработке и внедрению методик оценки управляющих организаций с целью формирования потребительского рейтинга. И только в 2017 г. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации утвердило методику определения индекса качества ЖКУ для субъектов Российской Федерации. Данная методика направлена на определение уровня качества предоставления населению ЖКУ в субъектах Российской Федерации через расчет индекса качества ЖКУ. Для расчета индекса качества используются показатели, характеризующие инвестиционные вложения, собираемость платежей населения за ЖКУ, качество очистки сточных вод, обеспеченности населения качественной и условно доброкачественной питьевой водой, потерь коммунального ресурса при транспортировке по сетям, нарушений за предоставление населению некачественных коммунальных услуг, доли МКД, находящихся на контроле качества проведенного капитального ремонта, удовлетворенности населения качеством оказания ЖКУ, утилизированных твердых коммунальных отходов, нарушений снабжением коммунальным ресурсом, расходов, приходящихся на оплату ЖКУ ($К_1$ – $К_{19}$), т.е. характеризующих оценку уровня качества ЖКУ. Расчет значений показателей $К_1$ – $К_8$, $К_9$ – $К_{13}$, $К_{15}$ – $К_{19}$, представленных в данной методике [7] описан достаточно полностью. Обозначение и формулы для расчета значений показателя уровня потерь коммунального ресурса при транспортировке по сетям в методике [7] не представлены. Показатель $К_{14}$ рассчитывается на основании результатов проведенного опроса потребителей.

В данной методике отсутствует анкета для проведения опроса потребителей и нет соответствующей ссылки на опросную анкету. Следовательно, можно предположить, что оценка удовлетворенности потребителей осуществляется по утвержденным методикам по определению рейтинга управляющих организаций по соответствующим регионам Российской Федерации.

В настоящее время существует ряд методик или процедур, или требований, или критериев, или показателей, направленных на оценку качества ЖКУ.

В 2011 г. Институтом экономики города разработана методика оценки деятельности управляющих организаций в жилищном секторе г. Москвы [8]. Данная методика содержит:

– принципы оценки деятельности управляющих организаций;

– критерии оценки; описание (характеристику) оценки критериев;

– порядок расчета значений по каждому критерию;

– принципы построения рейтинга управляющих организаций;

– формы отчетности по оценке и рейтингу.

В 2012 г. утверждена методика оценки эффективности деятельности управляющих организаций для Республики Мордовия [9]. Данная методика включает:

– порядок расчета оценки эффективности деятельности организации;

– перечень показателей эффективности деятельности организации;

– формы анкет организаций управляющих жилищным фондом.

В 2013 г., при реализации проекта «Потребительский рейтинг управляющих организаций как инструмент общественного контроля качества жилищно-коммунальных услуг», Институтом экономики города определены цели, предмет и критерии оценки управляющих организаций для формирования потребительского рейтинга, а также разработана методика оценки управляющих организаций, направленная на построение потребительского рейтинга [10].

В октябре 2013 г. Правительство Санкт-Петербурга утвердило методику для осуществления жилищного надзора на уровне региона. Данная методика включает [11] последовательность действий, т.е. порядок проведения жилищного надзора и критерии риска процесса проведения регионального жилищного надзора.

В этом же году администрация местного самоуправления г. Владикавказа утвердила рейтинговую систему оценки качества управления МКД и оказания услуг по содержанию и (или) выполнению работ по ремонту общего имущества в МКД управляющими компаниями, осуществляющими деятельность на территории г. Владикавказа. Данная методика включает [12]:

– балльную систему оценки качества управления МКД и оказания услуг по содержанию и (или) выполнению работ по ремонту общего имущества в МКД;

– процедуру оценки;

– оценку деятельности управляющих компаний по санитарному содержанию и благоустройству придомовой территории.

В апреле 2015 г. распоряжением Совета Министров Республики Крым утвержден перечень показателей эффективности деятельности, методика оценки, порядок создания и функционирования системы рейтинговой работы лиц, осуществляющих управление МКД [13].

В мая 2015 г. Правительством Республики Саха (Якутия) утвержден Порядок создания и функционирования рейтинговой деятельности организации, осуществляющих управление МКД на территории Республики Саха (Якутии) [14]. Данная методика включает:

– перечень показателей эффективности деятельности управляющих организаций;

– методику оценки эффективности деятельности управляющих организаций;

– расчет рейтинга по оценке управляющих организаций;

– форму анкеты для опроса ресурсоснабжающих организаций о деятельности управляющих организаций.

В июне 2015 г. Министерство жилищно-коммунального хозяйства Ставропольского края утвердило методику создания и функционирования системы рейтингования эффективности работы лиц, осуществляющих управление МКД, расположенными на территории Ставропольского края, и перечень показателей оценки эффективности их деятельности [15].

В июне 2015 г. Государственная жилищная инспекция Челябинской области утвердила положение о рейтинговой системе оценки деятельности управляющих организаций, осуществляющих деятельность по управлению МКД. Данная методика включает [16]:

– порядок организации и проведение рейтинга;

– перечень показателей оценки эффективности деятельности управляющих организаций;

– методику оценки эффективности деятельности управляющих организаций.

В августе 2015 г. Правительством Чеченской Республики утверждена система рейтингования деятельности лиц, осущест-

вляющих управление МКД. Данная методика включает [17]:

– перечень показателей оценки эффективности деятельности лиц, осуществляющих управление МКД;

– методику оценки эффективности деятельности управляющих организаций;

– порядок создания и функционирования системы рейтингования деятельности управляющих организаций.

В 2016 г. службой государственного жилищного надзора Иркутской области вводится положение о рейтинговой системе общественной оценки деятельности управляющих организаций, осуществляющих управление МКД на территории Иркутской области. Данная методика включает [18]:

– порядок организации и проведения рейтинга;

– основные положения об участии населения в оценке деятельности управляющих организаций;

– перечень показателей оценки эффективности деятельности управляющих организаций;

– методику оценки эффективности деятельности управляющих организаций и расчет рейтинга управляющих компаний.

В 2017 г. утвержден перечень показателей оценивания эффективности деятельности, методика оценки, порядок создания и функционирования системы рейтингования деятельности лиц, осуществляющих управление МКД для Кабардино-Балкарской Республики [19].

В 2018 г. Государственный комитет по жилищному и строительному надзору республики Башкортостан утвердил методику оценивания эффективности деятельности организаций, осуществляющих управление жилищным фондом. Данная методика включает [20]:

– перечень показателей оценки эффективности деятельности организаций осуществляющих управление МКД;

– методы оценки эффективности деятельности организаций, осуществляющих управление МКД;

– порядок и сроки размещения показателей оценки эффективности деятельности организаций осуществляющих управление МКД.

В 2019 г. утвержден перечень показателей оценки эффективности деятельности, методика оценки, порядок создания и функционирования системы рейтингования деятельности лиц, осуществляющих управление МКД для Астраханской области [21].

Заключение

На основании проведенного анализа существующих процедур оценки качества ЖКУ выявлено, что каждая методика или процедура имеют схожие, но и различные показатели, требования, характеризующие качество ЖКУ. Следовательно, для дальнейших исследований, целесообразно провести сравнительный анализ показателей качества и выявить обобщенный перечень показателей качества с целью формирования и разработки номенклатуры показателей качества ЖКУ.

Единая номенклатура показателей качества и методика их оценки и нормирования базовых значений позволит проводить сравнительную оценку среди управляющих организаций.

Список литературы

1. Чотчаев А.Н. Жилищно-коммунальное хозяйство: современное состояние, проблемы, перспективы развития // Образование и наука в России и за рубежом. 2018. № 9 (44). С. 165–171.

2. Бутырин А.Ю., Чернышев А.В., Грабовый К.П. Характерные аспекты жилищно-коммунального комплекса как сложной организационно-экономической системы // Вестник МГСУ. 2014. № 2. С. 196–202.

3. Акифьева Л.В. Оценка качества предоставления жилищно-коммунальных услуг в Нижегородской области // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. 2012. № 3 (10). С. 31–41.

4. Гузалева С.Ю., Любова О.В. Совершенствование системы оценки качества жилищно-коммунальных услуг // Казанская наука. 2014. № 4. С. 73–75.

5. Солдатова А.В., Мишкина Е.В. Методика потребительской оценки качества услуг управляющих организаций в жилищно-коммунальном хозяйстве // Прикладная математика и вопросы управления. 2015. № 1. С. 114–126.

6. Акифьева Л.В., Озина А.М. Оценка качества предоставления жилищно-коммунальных услуг на региональном уровне // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. 2016. № 9 (64). С. 15–24.

7. Приказ Минстроя России от 18.12.2017 № 1679/пр «Об утверждении Методики определения индекса качества жилищно-коммунальных услуг субъекта Российской Федерации» // [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_287266/ (дата обращения: 28.01.2020).

8. Разработка методики оценки деятельности управляющих организаций в жилищном секторе // Институт экономики города. [Электронный ресурс]. URL: https://pandia.ru/text/78/239/40032.php (дата обращения: 28.01.2020).

9. Приказ Министерства жилищно-коммунального хозяйства и гражданской защиты населения Республики Мордовия от 25.06.2012 г. № 68 «Об утверждении методики оценки эффективности деятельности управляющих организаций» [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/453374156 (дата обращения: 28.01.2020).

10. Проект «Потребительский рейтинг управляющих организаций как инструмент общественного контроля качества жилищно-коммунальных услуг». Методика оценки управляющих организаций для построения потребительского рейтинга // Институт экономики города. [Электронный ресурс]. URL: http://gkhkontrol.ru/2014/04/15452 (дата обращения: 28.01.2020).

11. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 10.10.2013 г. № 776 «Об утверждении Порядка осуществления регионального государственного жилищного надзора на территории Санкт-Петербурга» [Электронный

ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/822402481 (дата обращения: 28.01.2020).

12. Постановление Администрации местного самоуправления города Владикавказа от 03.12.2013 г. № 2840 «Об утверждении Рейтинговой системы оценки качества управления многоквартирными домами и оказания услуг по содержанию и (или) выполнению работ по ремонту общего имущества в многоквартирных домах управляющими компаниями, осуществляющими деятельность на территории г. Владикавказа» [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/446538174 (дата обращения: 28.01.2020).

13. Распоряжение Совета министров Республики Крым от 14.04.2015 г. № 314-р «Об утверждении перечня показателей эффективности деятельности, методики оценки, порядка создания и функционирования системы рейтингования работы лиц, осуществляющих управление многоквартирными домами» [Электронный ресурс]. URL: http://base.garant.ru/23705798/ (дата обращения: 28.01.2020).

14. Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) от 28.05.2015 г. № 173 «Об утверждении Порядка создания и функционирования системы рейтингования деятельности организаций, осуществляющих управление многоквартирными домами на территории Республики Саха (Якутия)» [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/428587588 (дата обращения: 28.01.2020).

15. Приказ Управления Ставропольского края по строительному и жилищному надзору от 30.06.2015 г. № 336-од «Об утверждении методики создания и функционирования системы рейтингования эффективности работы лиц, осуществляющих управление многоквартирными домами, расположенными на территории Ставропольского края, и перечня показателей оценки эффективности их деятельности» [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/446200391 (дата обращения: 28.01.2020).

16. Приказ Главного управления «Государственная жилищная инспекция Челябинской области» от 15.06.2015 г. № 38 «Об утверждении Положения о рейтинговой системе оценки деятельности управляющих организаций, осуществляющих деятельность по управлению многоквартирными домами на территории Челябинской области» [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/543759540 (дата обращения: 28.01.2020).

17. Распоряжение Правительства Чеченской Республики от 10.08.2015 г. № 190-р «О системе рейтингования деятельности лиц, осуществляющих управление многоквартирными домами» [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/428659530 (дата обращения: 28.01.2020).

18. Приказ Службы государственного жилищного надзора Иркутской области от 29.08.2016 г. № 040-спр «Об утверждении положения о рейтинговой системе общественной оценки деятельности управляющих организаций, осуществляющих управление многоквартирными домами на территории Иркутской области» [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/453148294 (дата обращения: 28.01.2020).

19. Приказ Государственного комитета Кабардино-Балкарской Республики по энергетике, тарифам и жилищному надзору от 20.04.2017 г. № 41-ОД «Об утверждении перечня показателей оценки эффективности деятельности, методики оценки, порядка создания и функционирования системы рейтингования деятельности лиц, осуществляющих управление многоквартирными домами» [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/450201872 (дата обращения: 28.01.2020).

20. Приказ Государственного комитета Республики Башкортостан по жилищному и строительному надзору от 12.12.2018 г. № 2047 « Об утверждении Положения об оценке эффективности деятельности организаций, осуществляющих управление жилищными фондами на территории Республики Башкортостан» [Электронный ресурс]. URL: https://zhilstroynadzor.bashkortostan.ru/documents/active/186041/ (дата обращения: 28.01.2020).

21. Распоряжение Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Астраханской области от 01.04.2019 г. № 64 «Об утверждении перечня показателей оценки эффективности деятельности, методики оценки, порядка создания и функционирования системы рейтингования деятельности лиц, осуществляющих управление МКД» [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/553373920 (дата обращения: 28.01.2020).

УДК 661.183.3:546.05:546.264

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЗОЛЫ В УСЛОВИЯХ ХЛОРИРУЮЩЕГО ОБЖИГА

Досмухамедов Н.К., Даруеш Г.С., Жолдасбай Е.Е.

Satbayev University, Алматы, e-mail: nurdos@bk.ru

В статье рассматриваются вопросы переработки золы от сжигания углей ТЭЦ, обосновывается утверждение о возможности использования золы в качестве дополнительного источника для получения оксида алюминия, кварца и РЗМ. Представлены результаты комплексных исследований (элементный, рентгенофазовый методы анализа) вещественного состава золы от сжигания Экибастузских углей. Показано, что алюминий в золе представлен в форме муллита и анортита. Железо обнаружено в виде гематита и магнетита. Анализируются известные технологии переработки золы, где предусматривается выделение оксида алюминия и кварца в целевые продукты в начальной стадии технологии. Особое внимание уделено изучению поведения основных соединений алюминия (муллит) и железа (гематит, магнетит) в процессе совместного окислительного обжига золы с хлоридом кальция. На основании результатов термодинамических расчетов показана принципиальная возможность перевода труднорастворимого муллита в легкорастворимое соединение геленит, в температурном интервале 1073…1373 К. Рассчитаны значения энергии Гиббса и константы равновесия реакций взаимодействия основных составляющих золы с хлоридом кальция. Установлено, что для разложения труднорастворимого соединения алюминия (муллита) до легкорастворимого геленита, целесообразно его предварительно подвергать обжигу совместно с хлоридом кальция в окислительной атмосфере.

Ключевые слова: зола, обжиг, хлорид кальция, кислород, муллит, геленит, анортит, энергия Гиббса, температура

FEATURES OF BEHAVIOR OF COMPONENTS OF ASH UNDER THE CHLORINATING FIRING CONDITIONS

Dosmukhamedov N.K., Daruesh G.S., Zholdasbay E.E.

Satbayev University, Almaty, e-mail: nurdos@bk.ru

The article discusses the processing of ash from the burning of coal from a thermal power station, substantiates the statement about the possibility of using ash as an additional source for the production of aluminum oxide, quartz and rare-earth metals. The results of complex studies (elemental, X-ray phase analysis methods) of the ash material composition from the burning of Ekibastuz coal are presented. It is shown that aluminum in ash is presented in the form of mullite and anorthite. Iron is found in the form of hematite and magnetite. The known ash processing technologies are analyzed, where the separation of alumina and quartz oxide into target products in the initial stage of the technology is envisaged. Particular attention is paid to the study of the behavior of the main compounds of aluminum (mullite) and iron (hematite, magnetite) in the process of co-oxidizing roasting of ash with calcium chloride. Based on the results of thermodynamic calculations, it was shown that it is possible in principle to transfer a poorly soluble mullite to an easily soluble gelite compound in the temperature range 1073 ... 1373 K. The Gibbs energy and the equilibrium constant for the reactions of the interaction of the main components of the ash with calcium chloride are calculated. It was found that for the decomposition of a sparingly soluble aluminum compound (mullite) to readily soluble gelenite, it is advisable to preliminarily calcine it together with calcium chloride in an oxidizing atmosphere.

Keywords: ash, calcination, calcium chloride, oxygen, mullite, gelenite, anorthite, Gibbs energy, temperature

Уголь является наиболее распространенным в мире энергоносителем и может обеспечивать энергетические потребности планеты на протяжении ближайших столетий. В мире ежегодно добывается ~ 5 млрд т каменного угля. Более 40% производимой в мире электроэнергии вырабатывается путем сжигания угля. При этом на ТЭЦ на один выработанный кВт/ч электроэнергии приходится значительно больше эмиссий парниковых газов в сравнении с другими энергоносителями. Так, при получении 1 ГДж теплоты из угля образуется 90 кг CO_2 [1]. В эпоху, когда каждая страна в мире связана обязательствами по сокращению выбросов парниковых газов, неудивительно, что спрос на уголь быстро падает. Несмотря на эти глобальные тенденции, США ищут способы оживить свою умирающую угольную отрасль. Идея состоит в том, чтобы изменить продукт: вместо добычи угля в качестве источника топлива они могли бы добывать уголь ради получения ценных металлов, содержащихся в нем.

Не вдаваясь в детали широкого обсуждения использования угля, как одного из самых дешевых топливных ресурсов, в данной работе внимание акцентировано на вопросе такого нетрадиционного сырьевого источника, как зола, которая получается в результате сжигания угля и вполне может быть использована для дополнительного получения металлов.

Отходы золошлаков и их переработка давно привлекали внимание ученых. Различные химико-технологические аспек-

ты использования золошлаковых отходов для производства строительных материалов и ферросплавов рассмотрены в работах [2, 3]. Золошлаковые массы могут являться уникальным ресурсом и рассматриваться в качестве самостоятельных комплексных рудных месторождений редких, редкоземельных металлов, которые располагаются на поверхности, тем самым не требуя расходов на их извлечение.

В последнее десятилетие, в связи с ростом развития новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику; технологии наноустройств и микросистемной техники; технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения, интерес к этим отходам, накопленные объемы которых сегодня исчисляются десятками миллионов тонн, приобрел особый интерес. Это связано с тем, что создание и развитие новых наукоемких производств высоких переделов (5, 6 и 7 переделы) в первую очередь требует применения редких и редкоземельных металлов, которые вполне могут быть получены из угля или его отходов, в том числе из золошлаков [4, 5].

С другой стороны, возросший интерес к редким и редкоземельным металлам обусловлен особенностями рыночной политики последних нескольких лет. Введение ограничений на экспортные поставки РЗМ Китаем, который отвечает за производство более чем на 90 % мировых редкоземельных металлов, привело к панике на рынке, резкому росту цен и риска потери источника сырья для отдельных отраслей промышленности других стран. К примеру, если бы Китай изменил свое мнение о поставках РЗМ в США, это сделало бы США более уязвимым для внешних угроз.

Китай в прошлом умело использовал свое превосходство в поставках редкоземельных металлов и для политического маневрирования. В 2010 г. Китай заблокировал экспорт редкоземельных металлов в Японию из-за морского спора. Это вызвало резкий рост мировых цен на редкоземельные металлы и показало опасность монополии в сфере критических элементов. После того как спор был улажен, Китай возобновил экспорт. Но тем не менее Япония вынуждена была диверсифицировать поставки редкоземельных металлов, чтобы избежать такой ситуации снова.

В США есть только одно месторождение редкоземельных металлов, в Калифорнии, и оно было закрыто в 2016 г., после того как горнодобывающая компания Molycorp подала на банкротство. Есть, однако, много угольных шахт. Исходя из сложившейся ситуации в 2015 г. Министерство энергетики США выделило 20 млн долларов для проектов, направленных на то, чтобы выяснить, как снизить затраты на восстановление редкоземельных металлов из угля. С тех пор научное сообщество уже достигло определенного прогресса [6–10].

В настоящее время технолого-экономический потенциал отходов угольных предприятий почти не востребован. Единственным редким металлом, который получают из углей и углеотходов в промышленных количествах, является Ge.

На наш взгляд, подход, направленный на извлечение из золошлаков исключительно РЗМ [6–8], не представляется перспективным, так как в этом случае теряется смысл комплексности использования сырья [9, 10]. Учитывая, что основными компонентами золошлаков являются оксиды алюминия, кремнезема и железа, необходимо учитывать возможность извлечения всего спектра металлов. В рассматриваемом ракурсе большой интерес для практики может представлять представленная в работе [11] комплексная, высокоэффективная технология переработки золы с комплексным извлечением кремнезема, оксида алюминия, железа и РЗМ в товарные продукты. Настоящая работа затрагивает теоретические аспекты технологии, касательно селективного извлечения оксида алюминия и кремнезема в товарные продукты.

Цель работы – исследование поведения оксида алюминия, кремнезема и железа в условиях хлорирующего обжига золы от сжигания Экибастузских углей в атмосфере воздуха, применительно к технологии комплексной переработки золы.

Материалы и методы исследования

Оценка вероятного направления реакций, протекающих между компонентами золы и хлоридом кальция, проводилась по изменению термодинамических величин системы. Основное внимание уделено реакциям взаимодействия оксидов алюминия, железа с хлоридом кальция в условиях обжига в воздушной атмосфере.

Термодинамический анализ проведен с учетом зависимости изобарно-изотермических потенциалов (свободная энергия Гиббса) реакций от температуры. Изменение свободной энергии Гиббса (ΔG^o_T) рассчитывали по формуле

$$\Delta G^o_T = \Delta H^o_T - \Delta S^o_T * T, \quad (1)$$

где ΔH^o_T, ΔS^o_T – стандартные значения энтальпии и энтропии системы соответственно;

T – абсолютная температура, К.

При расчетах энергии Гиббса (ΔG^o_T) искомых реакций за стандартное состояние минералообразующих соединений, присутствующих в золе, а также кварца и оксидов железа приняты твердые их состояния (s). Для газообразных соединений за стандартное состояние приняты газы (g). За стандартное состояние хлорида кальция выбран жидкий хлорид (l). Исходные данные для расчетов получены из работы [12] и веб-сайта NIST-JANAF Thermo chemical Tables.

Термодинамические расчеты реакций, принятые к анализу, проведены с использованием специальной программы, разработанной авторами.

Изменение константы равновесия реакции (Kp) в зависимости от температуры определяли исходя из выражения

$$\Delta G^o_T = -RT \ln Kp = -19{,}155*T \lg Kp, \qquad (2)$$

где R – универсальная газовая постоянная ($R = 8{,}32*10^{-3}$ кДж/град·моль).

Для проведения термодинамических расчетов использованы результаты по формам нахождения алюминия, кремнезема и железа в исходной золе. Комплексные исследования вещественного состава исходной золы проведены методами элементного, рентгенофазового и кристаллооптического анализа с применением приборов нового поколения. В качестве объекта исследования использованы пробы золы, полученной от сжигания Экибастузских углей.

Элементный состав исходных проб золы определяли методом рентгеноспектрального микроанализа с использованием электронно-зондового микроанализатора Super Probe 733 (Jeol, Япония). Анализы элементного состава образцов и фотосъёмку в различных видах излучений выполняли с использованием энергодисперсионного спектрометра Inca Energy (Oxford Instruments, Англия).

Рентгенодифрактометрический анализ проведен на дифрактометре ДРОН-3 с Cu Ka – излучением, β-фильтр. Условия съемки дифрактограмм: U = 35 кВ; I = 20 мА; съемка θ-2θ; детектор 2 град/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов.

Расчет рационального состава золы проводился на основании результатов вышеупомянутых комплексных исследований с использованием современных методов металлургических расчетов.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объектов исследования использованы золы Алматинской ТЭЦ-2, работающей на Экибастузском угле, зольностью 30 %. Объемы накопленных на сегодня золоотходов составляют 20 млн т.

Исследование вещественного состава исходной золы

Для исследования элементного состава исходной золы были приготовлены три порошковые пробы. Характерный спектр исходной золы и результаты элементного состава представлены на рис. 1 и в табл. 1 соответственно.

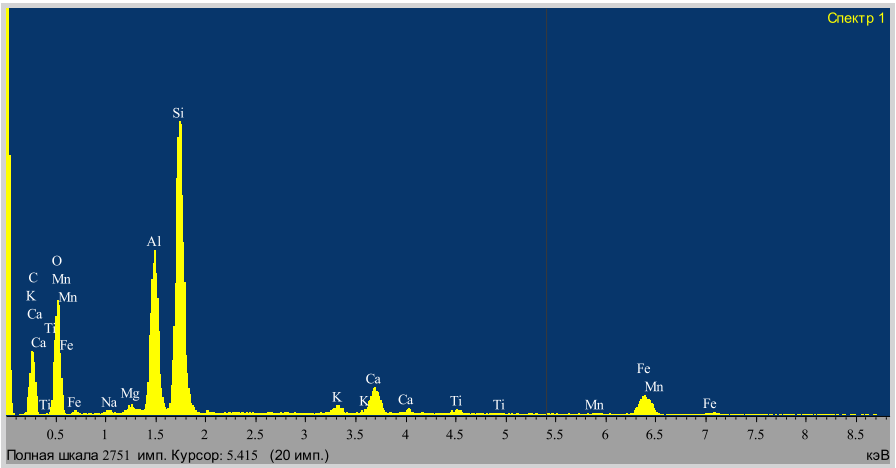


Рис. 1. Спектр исходной золы от сжигания Экибастузского угля

Таблица 1

Результаты элементного состава золы от сжигания Экибастузского угля

Элементы	Al	Si	Fe	Ti	Mg	K	Ca	Mn	O	Na
Содержание, % вес. Спектр 1	13,66	27,71	5,52	0,64	0,64	0,89	3,17	0,20	46,96	0,61
Спектр 2	13,83	28,20	5,49	0,71	0,58	0,85	2,36	0,13	47,50	0,35
Спектр 3	14,87	28,55	4,97	0,65	0,35	0,82	2,10	0,11	46,85	0,72
Среднее	14,12	28,15	5,33	0,67	0,52	0,86	2,54	0,15	47,10	0,56
Станд. откл.	0,66	0,42	0,31	0,04	0,15	0,04	0,56	0,05	0,35	0,19
Макс.	14,87	28,55	5,52	0,71	0,64	0,89	3,17	0,20	47,50	0,72
Мин.	13,66	27,71	4,97	0,64	0,35	0,82	2,10	0,11	46,85	0,35

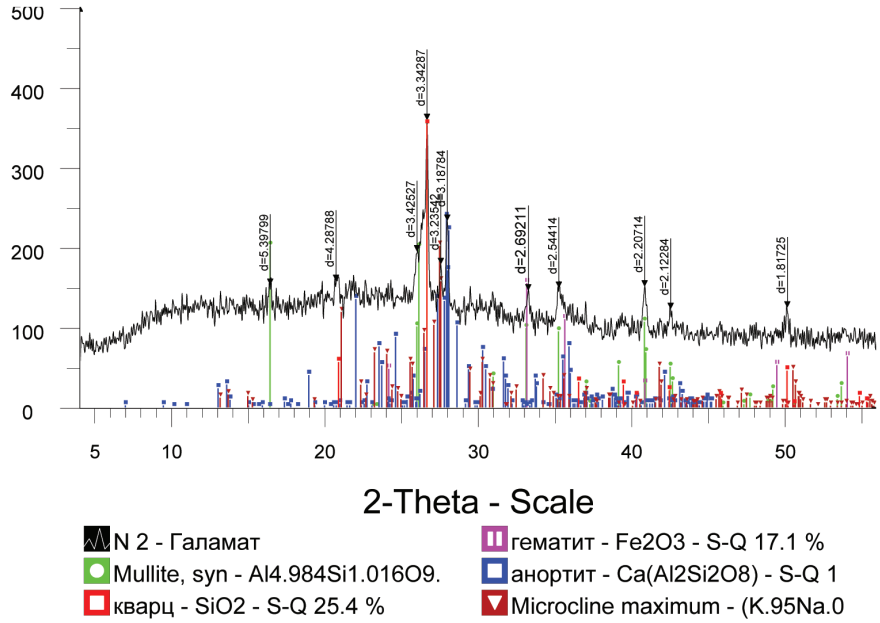


Рис. 2. Штрих-диаграмма исходной золы

Результаты фазового состава исходной золы, полученные расшифровкой штрих-диаграммы рентгенодифрактометрического анализа на дифрактометре ДРОН-3 (рис. 2), приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа кристаллических фаз

Название фазы	Формула	Содержание, %
Муллит	$Al_{4.984}Si_{1.016}O_{9.508}$	36,2
Кварц	SiO_2	25,4
Гематит	Fe_2O_3	17,1
Анортит ПШ	$Ca(Al_2Si_2O_8)$	12,2
Microcline КПШ	$(K_{.95}Na_{.05})AlSi_3O_8$	9,1

Как показывают результаты фазового анализа, алюминий в исходной золе представлен в основном в виде труднорастворимого муллита ($Al_{4.984}Si_{1.016}O_{9.508}$) – минерала из класса силикатов и в форме анортита $Ca(Al_2Si_2O_8)$ – минерала из группы полевых шпатов (ПШ), который по составу относится к алюмосиликатам со структурой каркасного типа. Обращает на себя внимание повышенное содержание свободного кварца (25,4 %) и гематита (Fe_2O_3) – 17,1 %. В незначительном количестве (9,1 %) в исходной золе обнаружена фаза калиевых полевых шпатов (микроклин КПШ).

На основании полученных результатов рассчитан рациональный состав золы (табл. 3), который был принят за основу для проведения термодинамических расчетов.

Таблица 3

Рациональный состав золы от сжигания Экибастузского угля

Соединения	Элементы, % мас.							
	Al	Si	Fe	Ca	Na	K	O	Всего:
$Al_{4.984}Si_{1.016}O_{9.508}$	15,15	3,33					17,72	36,2
SiO_2		11,87					13,53	25,4
Fe_2O_3			11,96				5,14	17,1
$Ca(Al_2Si_2O_8)$	2,30	2,48		1,77			5,65	12,2
$(K_{.95}Na_{.05})AlSi_3O_8$	0,83	2,67			0,36	1,18	4,06	9,1
Итого:	18,28	20,35	11,96	1,77	0,36	1,18	46,10	100,0

Термодинамический анализ реакций взаимодействия компонентов золы с хлоридом кальция в условиях окислительной атмосферы

Основной задачей окислительного обжига является перевод труднорастворимого муллита ($Al_{4.984}Si_{1.016}O_{9.508}$) в геленит ($Ca_2Al_2SiO_7$), который при дальнейшем выщелачивании соляной кислотой (HCl) легко переходит в раствор. Это позволит уже в начальной стадии выделить алюминий в раствор и селективно извлечь кварц в виде товарного продукта [11].

При окислительном хлорирующем обжиге золы будут протекать реакции взаимодействия муллита, а также и других соединений золы с хлоридом кальция. Вероятность протекания той или иной реакции можно оценить исходя из изменений термодинамических величин. Рассмотрим механизм взаимодействия соединений золы с хлоридом кальция в зависимости от температуры. Общий химизм процесса обжига можно описать системой реакций:

$$Al_2SiO_5\ (s) + 2CaCl_2\ (l) + O_2\ (g) = Ca_2Al_2SiO_7\ (s) + 2Cl_2\ (g), \quad (1)$$

$$Al_2SiO_5\ (s) + 2CaCl_2\ (l) + 2H_2O\ (g) = Ca_2Al_2SiO_7\ (s) + 4HCl\ (g), \quad (2)$$

$$Al_2SiO_5\ (s) + SiO_2\ (s) + CaCl_2\ (l) + 0.5\ O_2\ (g) = CaAl_2Si_2O_8\ (s) + Cl_2\ (g), \quad (3)$$

$$Al_2SiO_5\ (s) + SiO_2\ (s) + CaCl_2\ (l) + H_2O\ (g) = CaAl_2Si_2O_8\ (s) + 2HCl\ (g), \quad (4)$$

$$SiO_2\ (s) + Al_2O_3\ (s) + 2CaCl_2\ (l) + O_2\ (g) = Ca_2Al_2SiO_7\ (s) + 2Cl_2\ (g), \quad (5)$$

$$2SiO_2\ (s) + Al_2O_3\ (s) + CaCl_2\ (l) + 0.5\ O_2\ (g) = CaAl_2Si_2O_8\ (s) + Cl_2\ (g), \quad (6)$$

$$Fe_3O_4\ (s) + CaCl_2\ (l) + 0.5\ O_2\ (g) = CaFe_3O_5\ (s) + Cl_2\ (g), \quad (7)$$

$$3Fe_2O_3\ (s) + 2CaCl_2\ (l) + 0.5\ O_2\ (g) = 2CaFe_3O_5\ (s) + 2Cl_2\ (g), \quad (8)$$

$$2TiO_2\ (s) + 3CaCl_2\ (l) + 1.5\ O_2\ (g) = Ca_3Ti_2O_7\ (s) + 3Cl_2\ (g), \quad (9)$$

$$TiO_2\ (s) + CaCl_2\ (l) + 0.5\ O_2\ (g) = CaTiO_3\ (s) + Cl_2\ (g). \quad (10)$$

На рис. 3 показана зависимость изменения величины энергии Гиббса для реакций (1)–(4) в температурном интервале 1073…1373 К характерной для условий окислительного обжига золы совместно с хлоридом кальция.

Видно, что вероятность разложения муллита хлоридом кальция в окислительной атмосфере по реакции (1) достаточно высока и сопровождается образованием геленита и выделением хлора. Энергия Гиббса реакции (1) с повышением температуры растет и во всем исследованном температурном интервале характеризуется высоким отрицательным значением: $\Delta G_{1073\ K} = -298{,}9$ кДж/моль; $\Delta G_{1373\ K} = -663{,}2$ кДж/моль. Эффект разложения муллита в условиях обжига усиливается в присутствии паров воды (реакция 2). Значения энергии Гиббса, по сравнению с реакцией (1), возрастают на порядок и составляют: $\Delta G_{1073\ K} = -326{,}9$ кДж/моль; $\Delta G_{1373\ K} = -732{,}2$ кДж/моль.

Наличие в исходной золе свободного кварца затрудняет процесс разложения муллита хлоридом кальция, как в условиях окислительной атмосферы (реакция 3), так и при использовании паров воды (реакция 4). В температурном интервале 1073…1373 К значения энергии Гиббса указанных реакций характеризуются положительными значениями (рис. 3), что свидетельствует о невозможности образования анортита ($CaAl_2Si_2O_8$) по реакции (3), (4).

На рис. 4 видно, что образование геленита может сопровождаться в результате совместного взаимодействия свобод-

ного кварца и оксида алюминия с хлоридом кальция (реакция 5). Расчетные значения энергии Гиббса реакции (5) указывают, что в условиях избыточного расхода $CaCl_2$ и кислорода вероятность ее протекания высока. Изменение энергии Гиббса с повышением температуры показывает резкий рост: $\Delta G_{1073\ K} = -411{,}9$ кДж/моль; $\Delta G_{1373\ K} = -778{,}6$ кДж/моль.

Согласно реакции (6) снижение расхода $CaCl_2$ и кислорода в системе резко уменьшает вероятность образования геленита: реакция (6) в этом случае протекает с образованием анортита ($CaAl_2Si_2O_8$). В этом случае низкие значения энергии Гиббса, хотя и остаются на уровне минимальных отрицательных величин, тем не менее указывают на возможность образования геленита в температурном интервале 1073…1373 К (рис. 4).

Вероятность протекания реакций (7)–(10) с выделением газообразного хлора и образованием ферритов и титанатов кальция практически невозможно, ввиду положительных значений энергии Гиббса в интервале температур 1073…1373 К.

Результаты термодинамических расчетов энергии Гиббса и логарифма константы равновесия реакций (1)–(10) представлены в сводной табл. 4.

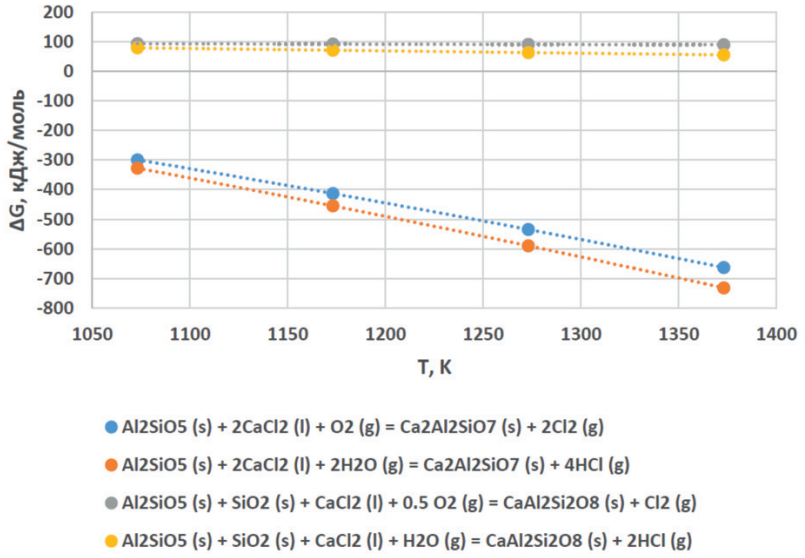


Рис. 3. Зависимость изменения энергии Гиббса реакций (1)–(4) от температуры

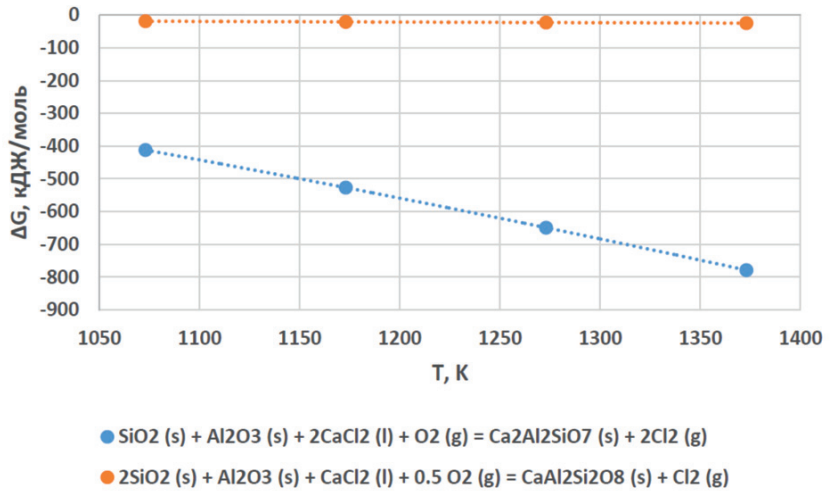


Рис. 4. Зависимость изменения энергии Гиббса реакций (5), (6) от температуры

Таблица 4

Результаты термодинамических расчетов энергии Гиббса и логарифма константы равновесия реакций (1)–(10)

№ п/п	Реакция	Температура, К				Температура, К			
		1073	1173	1273	1373	1073	1173	1273	1373
		Энергия Гиббса, ΔG, кДж/моль				Lg Kp			
1	Al_2SiO_5 (s) + $2CaCl_2$ (l) + O_2 (g) = = $Ca_2Al_2SiO_7$ (s) + $2Cl_2$ (g)	–298,9	–412,8	–534,4	–663,2	14,54	18,37	21,92	25,22
2	Al_2SiO_5 (s) + $2CaCl_2$ (l) + $2H_2O$ (g) = = $Ca_2Al_2SiO_7$ (s) + 4HCl (g)	–326,9	–454,4	–589,7	–732,2	15,90	20,22	24,18	27,84
3	Al_2SiO_5 (s) + SiO_2 (s) + $CaCl_2$ (l) + + 0.5 O_2 (g) = $CaAl_2Si_2O_8$ (s) + Cl_2 (g)	94,3	92,9	91,8	90,7	–4,59	–4,13	–3,76	–3,45
4	Al_2SiO_5 (s) + SiO_2 (s) + $CaCl_2$ (l) + + H_2O (g) = $CaAl_2Si_2O_8$ (s) + 2HCl (g)	80,3	72,1	64,1	56,3	–3,91	–3,21	–2,63	–2,14
5	SiO_2 (s) + Al_2O_3 (s) + $2CaCl_2$ (l) + + O_2 (g) = $Ca_2Al_2SiO_7$ (s) + $2Cl_2$ (g)	–411,9	–526,6	–649	–778,6	20,04	23,44	26,62	29,60
6	$2SiO_2$ (s) + Al_2O_3 (s) + $CaCl_2$ (l) + + 0.5 O_2 (g) = $CaAl_2Si_2O_8$ (s) + Cl_2 (g)	–18,7	–20,9	–22,8	–24,6	0,91	0,93	0,94	0,94
7	$2TiO_2$ (s) + $3CaCl_2$ (l) + 1.5 O_2 (g) = = $Ca_3Ti_2O_7$ (s) + $3Cl_2$ (g)	158,7	153,5	149,1	145,4	–7,72	–6,83	–6,11	–5,53
8	TiO_2 (s) + $CaCl_2$ (l) + 0.5 O_2 (g) = = $CaTiO_3$ (s) + Cl_2 (g)	25,7	24,1	22,7	21,6	–1,25	–1,07	–0,93	–0,82
9	Fe_3O_4 (s) + $CaCl_2$ (l) + 0.5 O_2 (g) = = $CaFe_3O_5$ (s) + Cl_2 (g)	179,3	204,7	234,7	267,1	–8,72	–9,11	–9,63	–10,16
10	$3Fe_2O_3$ (s) + $2CaCl_2$ (l) + 0.5 O_2 (g) = = $2CaFe_3O_5$ (s) + $2Cl_2$ (g)	491,3	536,4	586,4	640,9	–23,90	–23,87	–24,05	–24,37

Таким образом, из термодинамического анализа следует, что при окислительном обжиге золы совместно с хлоридом кальция в температурном интервале 1073…1373 К вполне возможно разложить труднорастворимый муллит ($Al_{4.984}Si_{1.016}O_{9.508}$) до легкорастворимого в соляной кислоте геленита ($Ca_2Al_2SiO_7$) с дальнейшим переводом его в раствор при выщелачивании. Это позволит уже в начальной стадии технологии [11] селективно разделить оксид алюминия и кварц с переводом их в целевые продукты.

Выводы

1. Проведен термодинамический анализ основных реакций взаимодействия соединений алюминия (муллит, анортит), кварца и железа (гематит, магнетит) с хлоридом кальция ($CaCl_2$) и кислородом, характерных для пирометаллургической переработки золы от сжигания угля в интервале температур 1073…1373 К.

2. Установлено, что для разложения трудно растворимого соединения алюминия (муллита) до легкорастворимого геленита целесообразно его предварительно подвергать обжигу совместно с хлоридом кальция в окислительной атмосфере.

3. Предварительная переработка золы обжигом является хорошей предпосылкой для извлечения оксида алюминия и кварца в начальной стадии с высокой эффективностью и уменьшения ущерба, наносимого окружающей среде.

Список литературы

1. Kaplan V., Wachtel E., Lubomirsky I. Carbonate melt regeneration for efficient capture of SO_2 from coal combustion. The Royal Society of Chemistry. 2013. Vol. 3 (36). P. 15842–15849.

2. Резниченко В.А., Лайнер Ю.А. Комплексное использование минеральной части углей // Комплексное использование сырья в цветной металлургии: Обзорная информация ЦНИИ экономики и информации цветной металлургии. М., 1987. Вып. 2. С. 1–6.

3. Диев В.Н., Яценко С.П., Сабирзянов Н.А., Анашкин В.С. Благородные и редкие металлы: Сборник информ. матер. междунар. конф. «БРМ-94». Донецк, 1994. Ч. 1. С. 50–51.

4. Granite E., Roth E., Alvin M.A. Recovery of Rare Earths from Coal and Byproducts: A Paradigm Shift for Coal Research.

National Academy of Engineering. The Bridge, Fall. 2016. Vol. 46 (3). P. 56–57.

5. Dai S., Graham I.T., Ward C.R. A review of anomalous rare earths elements and yttrium in coal. Int. J. Coal Geol. 2016. Vol. 159. P. 82–95.

6. Dwivedi A., Kumar J.M. Fly ash – waste management and overview: A Review, Recent Research in Science and Technology. 2014. Vol. 6 (1). P. 30–35.

7. Roth E., Macala M., Lin R., Bank T., Thompson R., Howard B., Soong Y., and Granite E. Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products. 2017 World of Coal Ash Conference in Lexington, 2017, May 9–11. [Electronic resource]. URL: http://www.flyash.info/2017/113-Roth-woca2017p.pdf (date of access: 21.01.2020).

8. Patil, S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Industrial Applications of Fly ash: A Review. International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). 2013. Vol. 2 (9). P. 1669–1663.

9. Stoch A. Fly ash from coal combustion – characterization, 2015, IST Instituto Superior Técnico Lisbon, P. 78.

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

11. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Даруеш Г.С. Инновационная технология комплексной переработки золы от сжигания угля // Уголь. 2020. № 1. С. 58–63.

12. Turkdogan E.T. Physical chemistry of high temperature technology. Academic Press. New York, 1980. 462 p.

УДК 666.1.036.858

СТАДИЯ ИОННОГО ОБМЕНА В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

Жуковская Е.С., Павлов Ю.В., Попов С.С., Гутников С.И.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, e-mail: evg.zhukovskaya@gmail.com

В работе рассмотрена возможность применения стадии ионного обмена в технологии получения базальтовых непрерывных волокон. В ходе выполнения работы на экспериментальной установке были получены непрерывные базальтовые волокна диаметром 10–12 мкм. Получение непрерывного волокна проводили на лабораторной установке, которая реализует двухстадийный процесс получения непрерывных волокон. На установке определяли технологические параметры получения волокна (нижний предел температурного интервала выработки, верхний предел температурного интервала выработки, температурный интервал выработки). В работе была сконструирована и изготовлена установка для проведения стадии ионного обмена для базальтовых непрерывных волокон. Полученные материалы были исследованы методами рентгенофазового анализа, рентгенофлуоресцентного анализа и оптической микроскопии. Показано, что в процессе проведения стадии ионного обмена в структуре базальтовых волокон не происходит процесса расслоения с их дальнейшей кристаллизацией. Химический состав волокон и их диаметр в процессе ионного обмена не меняется. Для изучения эффекта, который ионный обмен оказывает на механические свойства базальтовых волокон, проводились испытания прочности на разрыв и модуля упругости для моноволокон диаметром 10–12 мкм. Полученные непрерывные волокна обладают повышенной на 25–30 % прочностью на разрыв по сравнению с исходными. На основании полученных результатов можно сделать вывод о перспективе использования стадии ионного обмена в технологии получения базальтовых и стеклянных непрерывных волокон.

Ключевые слова: стеклянные волокна, технология, прочность, ионный обмен

STAGE OF ION EXCHANGE IN THE CONTINUOUS BASALT FIBERS PRODUCTION TECHNOLOGY

Zhukovskaya E.S., Pavlov Yu.V., Popov S.S., Gutnikov S.I.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: evg.zhukovskaya@gmail.com

The paper considers the possibility of using the ion exchange stage in the technology for producing basalt continuous fibers. The production of continuous fiber was carried out in a laboratory setup that implements a two-stage process for producing continuous fibers. The installation determined the technological parameters of fiber production (lower limit of the temperature range of production, upper limit of the temperature range of production, temperature interval of production). In the course of the work continuous basalt fibers with a diameter of 10 -12 μm were obtained using laboratory scale system. In the work, an apparatus for ion exchange for continuous basalt fibers was designed and manufactured. The resulting materials were investigated by X-ray diffraction analysis, X-ray fluorescence analysis and optical microscopy. It is shown that during the stage of ion exchange the process of separation in the structure of basalt fibers with their further crystallization does not occur. The fiber chemical composition and fiber diameter during the ion exchange process does not change. To study the effect of ion exchange on the mechanical properties of basalt fibers, the tensile strength and elastic modulus were determined for selected monofilaments with a diameter of 10-12 μm. Continuous fibers with high tensile strength by 25-30 % compared with the original ones are obtained. According to recent investigation, there is a prospect of using the ion exchange stage in the technology for producing basalt and glass continuous fibers.

Keywords: glass fibers, technology, tensile strength, ion exchange

Стеклянные и базальтовые волокна широко применяются в разных областях: для армирования полимерных композиционных материалов, бетонов, штукатурок и пр. Волокна на основе горных пород широко используются для производства теплоизоляционных и конструкционных материалов.

Одним из наиболее перспективных видов стеклянных волокон являются базальтовые непрерывные волокна. Технология получения базальтовых непрерывных волокон была разработана и активно внедрялась еще во второй половине XX в.

В отличие от классических составов марок стекловолокон E, S, AR и других, базальтовые волокна получают из горных пород. Химический состав у базальтовых стекол довольно сложен и зависит от месторождения [1].

Базальтовые волокна обладают достаточно высокой механической прочностью [2] и высокой щелочестойкостью [3] по сравнению со стеклянными волокнами марки E. Однако широкого распространения они пока не получили. Это связано с их относительно высокой стоимостью, что в свою очередь определяется низкой производительностью технологии. Например, в отличие от стекловолокон марки E, где количество одновременно вытягиваемых

монофиламентов с одного фильерного питателя может достигать несколько тысяч, для базальтовых волокон этот параметр ограничен 800–1000 фильерами. Эта особенность напрямую связана с повышенной кристаллизационной способностью базальтовых расплавов [4].

Базальтовые стекла можно отнести к многокомпонентным алюмосиликатным стеклам следующего химического состава (в мас.%): 47–55 SiO_2, 14–22 Al_2O_3, 7–15 $\Sigma(FeO + Fe_2O_3)$, 4–12 CaO, 3–9 MgO, 2–8 K_2O, 2–8 Na_2O и 1–3 TiO_2 [5]. Прочность на разрыв базальтовых волокон может достигать 3000 МПа [6], что сопоставимо с лучшими образцами стекловолокна марки Е. Потенциал развития технологии получения базальтовых непрерывных волокон заключается в реализации их преимуществ по сравнению с волокнами марки Е.

Целью данной работы является исследование возможности применения метода ионного обмена для модернизации технологии получения базальтовых непрерывных волокон с улучшенными механическими свойствами.

Материалы и методы исследования

Непрерывные волокна формовали с использованием андезито-базальтового сырья из карпатского месторождения Сильце. Базальтовую породу дробили и измельчали до порошкообразного состояния. В качестве модифицирующей добавки использовали карбонат натрия марки «х.ч.». Стекловарение проводилось по температурному режиму, включающему три этапа: относительно медленный нагрев в течение 10 ч до температуры 1100 °C, соответствующий дегазации расплавленной стекломассы; затем скорость нагрева повышалась и за 2 ч достигалась температура 1600 °C; на финальной стадии проводилось выдерживание расплава в течение 36 ч при температуре 1600 °C. Химический состав используемого сырья (состав «Базальт»), а также модифицированного образца, содержащего повышенное количество Na_2O, был уточнен с использованием метода рентгенофлуоресцентного анализа, результаты которого представлены в табл. 1.

Рентгенофазовый анализ

Рентгеновские исследования были выполнены в нормальных условиях на дифрактометре ARLX'TRA (анод – медь, $CuK_{\alpha1}\lambda = 1.54060$Å, $CuK_{\alpha2}\lambda = 1.54443$Å; съемка «на отражение»; Si (Li) детектор Пельтье). Измерения выполнялись в интервале углов 2Θ от 10 до 70°, шаг 2Θ составлял 0,02°, скорость съемки была 1°/мин. Для анализа полученных результатов, в том числе фазового анализа, использовалось программное обеспечение Crystallographica Search-Match с привлечением базы данных ICDD и PDF-2.

Рентгенофлуоресцентный анализ

Химический состав исследуемых образцов был определен на рентгенофлуоресцентном спектрометре Axios Advanced PANanalytical (анод – родий, мощность 4 кВт, детектор HiPer-Scint, геометрия на облучение «снизу»). Исследования выполняли в инертной атмосфере (аргон). Перед измерениями проводили следующую подготовку: анализируемые образцы перетирали до порошкообразного состояния и смешивали с полистиролом, после чего прессовали в виде таблеток.

Оптический анализ

Средний диаметр сформованных волокон был установлен с использованием оптического микроскопа OLYMPUS BX51TRF (лампа на прохождение 12V100WHAL (PHILIPS 7724), ксеноновая лампа на отражение U-LH75XEAPO), оборудованном фотоаппаратом OLYMPUS C-5060. Измерения проводились при увеличении от 200 до 1000 раз. Для уточнения размеров анализируемых волокон использовалось программное обеспечение ImageScope Color.

Механические свойства волокон

Механические свойства исследуемых волокон, в том числе прочность и модуль упругости, выполнялись на разрывной машине Tinius Olsen Hounsfield H5KS, оборудованной консольным блоком управления. Для измерений и анализа полученных результатов использовалось программное обеспечение TestNavigator.

Таблица 1

Химический состав полученных образцов непрерывных волокон

Образец	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
Базальт	63,1(6)	10,7(3)	0,9(1)	5,6(2)	12,2(3)	4,1(2)	1,1(1)	2,1(2)
Базальт – Na	60,0(6)	9,4(3)	0,9(1)	5,1(2)	11,6(3)	4,3(2)	1,1(1)	5,0(2)

Перед испытаниями проводили следующую подготовку образцов: на бумажные рамочки с размером исследуемой области 10 мм закрепляли базальтовые моноволокна, используя в качестве клея БФ-19. Прочность волокон рассчитывалась по формуле

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

где σ – прочность на разрыв, Па; F – разрывная нагрузка, Н; S – площадь поперечного сечения волокна, м^2. Для каждого исследования проводили измерение прочности на разрыв с постоянной скоростью 5 мм/с для не менее 50 моноволокон диаметром 10–12 мкм. За прочность принимали среднее значение.

Модуль упругости волокон рассчитывался по формуле

$$E = \frac{F \cdot l}{S \cdot \Delta l},$$

где E – модуль упругости, Па, Н; l – длина образца, м; Δl – удлинение образца, м. Проводилось не менее 50 экспериментов, среднее значение считалось модулем упругости.

Результаты исследования и их обсуждение

Стадия получения волокон

Формование непрерывного волокна производиось на лабораторной установке, которая реализует двухстадийный процесс получения непрерывных волокон. В установке была использована высокотемпературная муфельная печь с нагревательными элементами на основе карбида кремния. Регулировка процесса нагрева осуществлялась на основе данных, полученных при помощи термопар марки Pt 100 (рис. 1).

Полученное стекло дробили и вновь плавили в платиново-родиевом тигле. На дне тигля находились 4 фильеры, в которых происходило формование расплава в волокно. Скорость нагрева тигля – 500 °С/ч до температуры 1100 °С, затем 300 °С/ч вплоть до образования капли расплава стекломассы на фильере. Получившаяся капля вытягивалась с помощью стеклянной палочки, после чего производилась выработка необходимого количества непрерывного базальтового волокна с помощью намотки на вращающийся барабан. Средний диаметр формуемых волокон составлял 10–12 мкм, при этом регулировка диаметра осуществлялась скоростью вращения наматывающего устройства.

Для этого периодически поводили контроль диаметра при помощи оптического микроскопа и определяли диаметр волокна (20 образцов). Технологические параметры получения волокна (нижний предел температурного интервала выработки (Тн.п.п.в.), верхний предел температурного интервала выработки (Тв.п.п.в.), температурный интервал выработки) представлены в табл. 2. В ходе получения добивались устойчивого процесса формования (менее 1 обрыва волокна в течение 20 мин). Для дальнейших исследований использовали волокна, полученные в середине температурного интервала выработки.

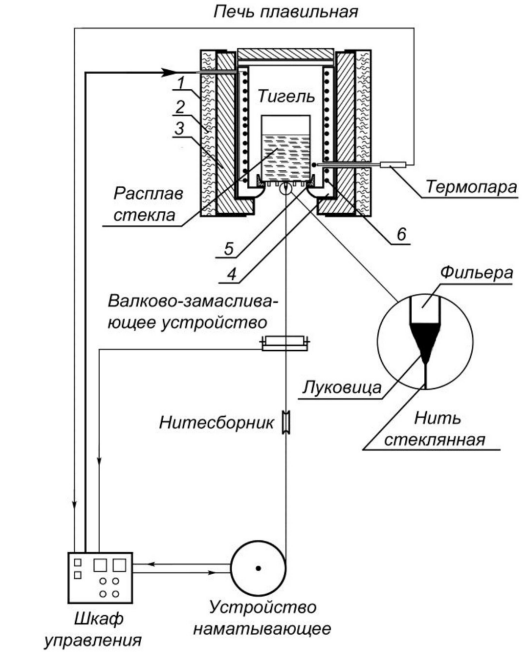


Рис. 1. Схема лабораторной установки для получения непрерывного волокна

Таблица 2

Условия получения базальтовых непрерывных волокон

Образец	Температура получения		
	Тн.п.п.в., °С	Тв.п.п.в, °С	ΔТ, °С
Базальт	1420 ± 10	1490 ± 10	70 ± 10
Базальт – Na	1360 ± 10	1530 ± 10	170 ± 10

Стадия ионного обмена

Для осуществления стадии ионного обмена отобранные волокна располагали в расплавленную соль калия. Для этого нитрат калия марки «х.ч.» помещали в сталь-

ную ванночку и нагревали со скоростью 5 °С/мин до температуры плавления соли, после чего проводили выдержку в течение нужного для прохождения ионного обмена времени. Температуру контролировали на основе показания термопары марки ХА. Волокна проходили через расплав KNO_3, а затем охлаждались в воде с парафиновой эмульсией (рис. 2). Непрерывные волокна после стадии ионного обмена обильно промывали дистиллированной деионизированной водой до нейтральной реакции, то есть полного удаления соли калия. Далее следовала сушка обработанных волокон в течение 1 ч при температуре 100 °С.

Исследование механических свойств

Все полученные стекла были исследованы методом РФА. Из рентгенограмм на рис. 3 видно, что все полученные стекла аморфны.

Для изучения влияния ионообменной модификации на механические характеристики непрерывных волокон на основе базальта был выполнен механический анализ. Была определена прочность на разрыв и модуль Юнга для моноволокон до и после ионного обмена. Результаты для базальтовых волокон без стадии ионного обмена представлены в табл. 3.

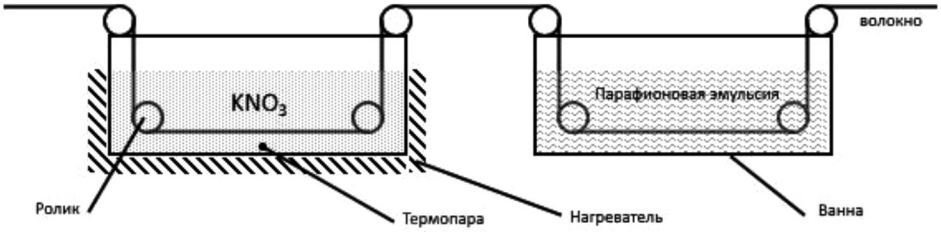


Рис. 2. Схема лабораторной установки для ионообменной обработки непрерывного волокна

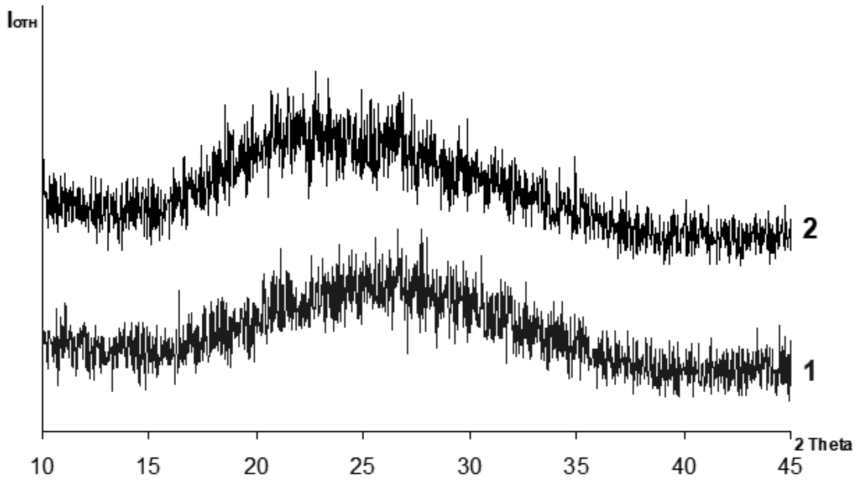


Рис. 3. Рентгенограммы полученных базальтовых непрерывных волокон:
1 – Базальт, 2 – базальтовые волокна с добавлением оксида натрия

Таблица 3

Механические параметры полученных базальтовых непрерывных волокон без применения стадии ионного обмена

Образец	Механические параметры		Параметры Вейбулла		
	σ, ГПа	E, ГПа	σ_0, ГПа	m	R^2
Без стадии ионного обмена					
Базальт	1,9(1)	55(2)	2,0	2,7	0,97
Базальт – Na	2,2(1)	59(2)	2,4	3,6	0,96

Таблица 4

Механические параметры полученных базальтовых непрерывных волокон с применением стадии ионного обмена

Образец	Температура обработки, °С	Время обработки, мин	Механические параметры		Параметры Вейбулла		
			σ, ГПа	E, ГПа	σ_0, ГПа	m	R^2
Базальт	400	90	1,8(2)	52(2)	2,0	3,2	0,95
Базальт – Na	400	15	2,5(1)	58(1)	2,0	8,6	0,98
		30	2,6(1)	59(2)	2,6	5,0	0,98
		90	2,8(1)	61(2)	2,7	4,3	0,96
	500	30	2,3(2)	60(2)	2,1	4,4	0,97

Результаты для базальтовых волокон с применением стадии ионного обмена представлены в табл. 4.

Заключение

В работе получены базальтовые волокна с повышенными механическими свойствами. Впервые в процессе получения волокон применили стадию ионного обмена. Показано, что в процессе проведения стадии ионного обмена в структуре базальтовых волокон не происходит процесса расслоения с их дальнейшей кристаллизацией. На основании полученных результатов можно сделать вывод о перспективе использования стадии ионного обмена в технологии получения базальтовых и стеклянных непрерывных волокон. Прочность таких волокон может быть увеличена на 25–30 %.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00483.

Список литературы

1. Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. Монография. М.: Теплоэнергетик, 2002. 416 с.

2. Karamanov A. The Crystallisation Kinetics of Iron Rich Glass in Different Atmospheres. J. Eur. Ceram. Soc. 2000. V. 20. P. 2233–2237.

3. Deak T., Czigany T. Chemical Composition and Mechanical Properties of Basalt and Glass Fibers: A Comparison. Textile Research Journal. 2009. P. 645–651.

4. Манылов М.С., Гутников С.И., Липатов Я.В., Похолок К.В., Филимонов Д.С., Лазоряк Б.И. Кристаллизация базальтовых непрерывных волокон в окислительной атмосфере // Физика и химия стекла. 2012. Т. 38. № 4. С. 565–573.

5. Gutnikov S.I., Manylov M.S., Lipatov Ya.V., Lazoryak B.I., Pokholok K.V. Effect of the Reduction Treatment on the Basalt Continuous Fiber Crystallization Properties. J. Non-Cryst. Solids. 2013. V. 368. P. 45–50.

6. Fiore V., Scalici T., Di Bella G., Valenza A. A review on basalt fibre and its composites. Compos. Part B. 2015. V. 74. P. 74–94.

УДК 621.31

РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ ДОБЫЧНОГО КОМБАЙНА МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ УСИЛИЙ

Заголило С.А., Семёнов А.С.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Политехнический институт (филиал), Мирный, e-mail: zagolilo93@gmail.com

В статье выполнен расчет и произведен выбор электродвигателей отдельных механизмов добычного комбайна методом эквивалентных усилий и при помощи построения нагрузочных диаграмм. Показана актуальность ведения добычных работ подземным способом. Дана характеристика средствам механизации подземных горных работ. Классифицированы проходческие и добычные комбайны. Рассчитаны производительности рудника и добычного комбайна. Исходя из рассчитанной производительности, выбрано количество и марка добычного комбайна. Приведены технические характеристики выбранного комбайна АМ-75 производства фирмы Voest-Alpine Bergtechnik GesmbH. Для предварительного расчета мощности электродвигателей применен метод эквивалентных усилий. Для этого рассчитаны усилия работы механизмов на холостом ходу и под нагрузкой, определены интервалы времени работы на холостом ходу, под нагрузкой и полный рабочий цикл. Определена предварительная и установочная мощность электродвигателей. Построены нагрузочные диаграммы механизмов и спроектированы их кинематические схемы. На основании выполненных расчетов из справочника выбраны ближайшие по мощности и подходящие по напряжению и режиму работы асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Сделаны заключения о значимости полученных данных для дальнейших исследований систем электропривода добычного комбайна методом компьютерного моделирования.

Ключевые слова: рудник, добычной комбайн, электродвигатель, эквивалентное усилие, расчет мощности, нагрузочная диаграмма

CALCULATION AND SELECTION OF ELECTRIC MOTORS OF THE MINING COMBINE MECHANISM BY THE EQUIVALENT FORCE METHOD

Zagolilo S.A., Semenov A.S.

North-Eastern Federal University n.a. M.K. Ammosov, Polytechnic institute (branch), Mirny, e-mail: zagolilo93@gmail.com

The article calculates and selects the electric motors of individual mechanisms of a mining combine by the equivalent force method and by constructing load diagrams. The relevance of mining operations by the underground method is shown. The characteristic is given to means of mechanization of underground mining. Driving and mining combine are classified. The performance of the mine and mining combine are calculated. Based on the calculated productivity, the quantity and grade of the mining combine are selected. The technical characteristics of the selected AM-75 combine manufactured by Voest-Alpine Bergtechnik GesmbH are presented. For preliminary calculation of electric motor power, the equivalent force method is used. For this, the efforts of the mechanisms idling and under load were calculated, the intervals of idling, under load and the full cycle were determined. The preliminary and installation power of electric motors is determined. The load diagrams of the mechanisms are constructed and their kinematic schemes are designed. Based on the calculations performed, from the reference book, asynchronous motors with a squirrel-cage rotor are closest in power and suitable in voltage and operating mode. Conclusions are made about the significance of the data obtained for further research of electric drive systems of a mining combine by computer simulation.

Keywords: mine, mining combine, electric motor, equivalent force, power calculation, load diagram

В настоящее время в Западной Якутии ведется активная разработка подземных месторождений полезных ископаемых, а именно алмазосодержащих пород [1, 2]. Обосновывается это экономической целесообразностью, так как снижаются затраты на вскрышные работы, требуется меньше специального карьерного транспорта [3]. Вопросы механизации погрузки разрушенной горной массы на забойный конвейер или другие транспортные средства имеют весьма важное значение как с точки зрения обеспечения высокопроизводительной работы выемочной машины, так и с точки зрения облегчения условий труда шахтеров, так как ручная погрузка горной массы – тяжелый физический труд, применяемый чаще всего в наиболее опасном, незакрепленном пространстве [4–6].

Добычные комбайны предназначены для проведения подготовительных горизонтальных выработок по рудным месторождениям полезных ископаемых с разными коэффициентами крепости породы f от 4 до 10 по шкале М.М. Протодьяконова. Основным направлением развития комплексной механизации проходческих и добычных работ в горной промышленности является внедрение комбайнового способа проведения выработок, уровень которого в 2018 г. достиг 80%. Используются в основном комбайны легкого и среднего

типов (массой от 20 до 100 т и энерговооруженностью исполнительного органа от 100 до 300 кВт), работающие по породе или с присечкой слабых пород. Добычные комбайны тяжелого типа составляют всего около 20 % [7].

Для проведения выработок по породам с коэффициентом крепости $f \geq 7$ и площадью сечения ≤ 50 м^2 серийно выпускаются средние и тяжелые добычные комбайны фирмы Voest-Alpine Bergtechnik GesmbH (австрийский производитель горнопроходческой техники) серии AM, масса которых достигает 30–80 т с мощностью исполнительного органа 200–250 кВт. Добычные комбайны AM представляют собой самоходную гусеничную машину с исполнительным органом стреловидного типа и погрузочным устройством в виде спаренных нагребающих лап на наклонном поворотном столе с самостоятельным приводом (рис. 1) [8].

Расчет производительности и выбор комбайна

Производительность определяют по горным возможностям и по экономически целесообразному сроку существования рудника, а также по горным возможностям с учетом угла падения залежи. При угле падения рудного тела более 30^0 годовая производительность будет определяться:

$$A_Г = U \cdot К_1 \cdot К_2 \cdot К_3 \cdot К_4 \cdot S \cdot \gamma \cdot (1 - П)/(1 - P),$$

где U – годовое понижение очистной выемки по всей рудной площади, м/год; $К_1, К_2, К_3, К_4$ – поправочные коэффициенты учитывающие соответственно угол падения, мощность рудного тела, принимаемую систему разработки и число этажей, находящихся в одновременной отработке; П и Р – планируемые величины потерь и разубоживания руды, доли единиц; S – горизонтальная площадь рудного тела, м^2, определяемая из выражения

$$S = m \cdot L_{пр}/\sin\alpha = 30 \cdot 75/\sin 90^0 = 2{,}53 \text{ тыс. м}^2.$$

Тогда годовая производительность одного из алмазодобывающих рудников будет равна

$$A_Г = 120 \cdot 1.1 \cdot 1{,}3 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 2{,}53 \cdot 2{,}44 \cdot (1 - 0{,}1)/(1 - 0{,}1) = 1019 \text{ тыс. т.}$$

Из рассчитанной годовой производительности определяем часовую производительность рудника:

$$A_ч = \frac{A_Г}{312 \cdot 24} = \frac{1019000}{312 \cdot 24} = 136 \text{ т/час.}$$

Так как производительность комбайнов задана в м^3/мин, определим часовую производительность комбайна:

$$Q_{КОМБ.Ч} = Q_{КОМБ.мин} \cdot 60 = 0{,}5 \cdot 60 = 30 \text{ м}^3\text{/час.}$$

При разработках породы с крепостью $f > 6$ принимаем плотность $\rho = 2{,}44$ т/м^3, откуда находим:

$$Q_{КОМБ.Ч} = Q_{КОМБ.Ч} \cdot \rho = 30 \cdot 2{,}44 = 80 \text{ т/час.}$$

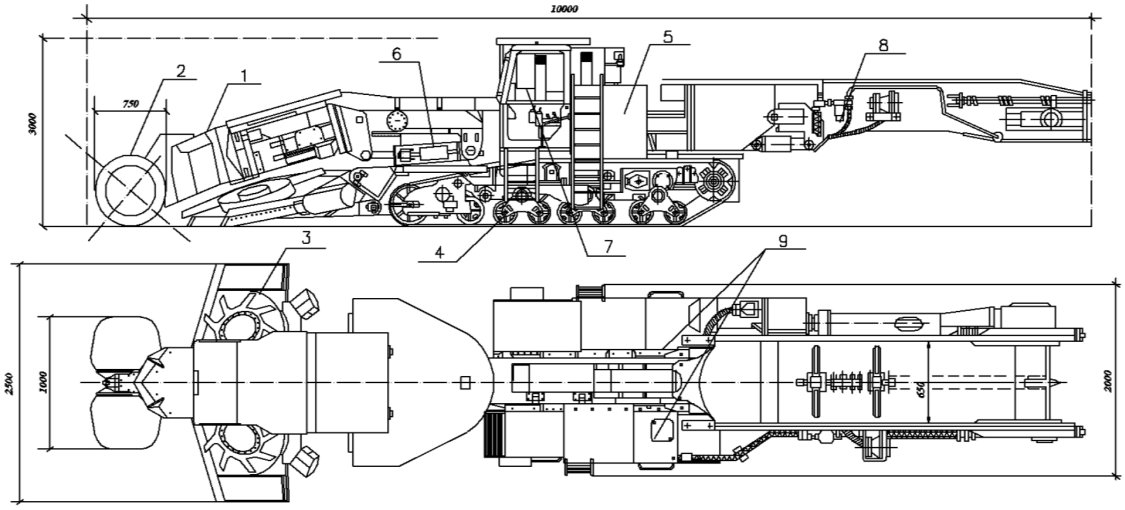


Рис. 1. Внешний вид добычного комбайна: 1 – система подвески стреловидного исполнительного органа, 2 – рабочий орган, 3 – погрузочный орган с нагребающими лапами, 4 – ходовая часть гусеничного типа, 5 – корпус комбайна, 6 – гидроцилиндры исполнительного органа, 7 – кабина оператора, 8 – конвейер скребкового типа, 9 – блок гидро- и электрооборудования комбайна, включая маслостанцию и управление

Таблица 1

Технические характеристики комбайна АМ-75

Наименование параметра	Значение
Расчетная часовая производительность рудника, $A_ч$	136 т/час
Часовая производительность комбайна, $Q_{КОМБ}$	80 т/час
Необходимое кол-во комбайнов для обеспечения часовой производительности рудника, шт.	2
Суммарная мощность электродвигателей комбайна, $P_Σ$	350 кВт
Мощность электродвигателя рабочего органа, $P_{РО}$	200 кВт
Мощность электродвигателей подборщика, $P_П$	2*36 кВт
Мощность электродвигателя конвейера, $P_К$	70 кВт
Режим работы основного электрооборудования	S1
Диаметр зарубной головки рабочего органа, D	750 мм
Ширина зарубного бара рабочего органа, B	1000 мм
Длина стрелы рабочего органа, L	2500 мм
Угол поворота и наклона стрелы, α	30°
Масса комбайна, $M_{КОМБ}$	52 т

При найденных темпах добычи принимаем комбайн АМ-75 с заданной минутной производительностью $Q_{М.П} = 0,5$ м³/мин. Составляем таблицу основных параметров комбайна и его механизмов, необходимых для дальнейшего расчёта. Исходными данными расчета являются физические и геометрические параметры, а также заданная производительность предприятия и комбайна (табл. 1).

Расчет и предварительный выбор электродвигателей

Для предварительного выбора электродвигателей построим нагрузочные диаграммы механизмов (графики статических нагрузок) [9, 10]. Расчет времени участков цикла на этапе предварительного выбора электродвигателя выполняем приблизительно, так как пока нельзя определить время разгонов и замедлений (суммарный момент инерции привода до выбора двигателя неизвестен) [11, 12].

Приведем пример расчета параметров нагрузочной диаграммы для самого мощного механизма – рабочего органа комбайна. Результаты для остальных механизмов, рассчитанных подобных образом, сведем в таблицу для удобства построения нагрузочных диаграмм.

1. Усилие вращения рабочего органа комбайна на холостом ходу:

$$F_{хх} = m_{РО \cdot g \cdot \mu} = 5000 \cdot 9,8 \cdot 0,15 = 7350 \text{ Н},$$

где μ = 0,1÷0,15 – коэффициент трения рабочего органа.

2. Усилие резания рабочего органа по породе:

$$F_P = m_{РО \cdot g \cdot \rho \cdot \mu} = 5000 \cdot 9,8 \cdot 2,44 \cdot 0,5 = 59780 \text{ Н},$$

где ρ = 2,44 т/м³ – плотность породы с крепостью f > 6; μ = 0,4÷0,6 – коэффициент трения рабочего органа по породе.

3. Время работы на холостом ходу рассчитываем как время от включения электродвигателя до подъезда к месту работы и в конце работы обратно:

$$t_{ХХ} = \frac{L_Р}{V_П} = \frac{16}{3,5} = 4,6 \text{ мин},$$

где $L_Р$ – расстояние от места стоянки до забоя; $V_П$ – средняя скорость передвижения комбайна, принимаем от 0 до 8,8 м/мин.

4. Время работы комбайна под нагрузкой равно

$$t_Р = \frac{S_В \cdot Q_{РО} \cdot \rho \cdot 1000}{V_{РО} \cdot m_{РО}} = \frac{24 \cdot 0,5 \cdot 2,44 \cdot 1000}{138 \cdot 5} = 43,4 \text{ мин},$$

где $S_В = 24$ м² – площадь выработки; $V_{РО} = 2,3$ м/с = 138 м/мин – скорость вращения рабочего органа комбайна.

5. Время цикла:

$$t_Ц = 2 \cdot t_{ХХ} + t_р = 2 \cdot 4,6 + 43,4 = 52,6 \text{ мин}.$$

6. Эквивалентное усилие рабочего органа при работе:

$$F_{ЭКВ} = \sqrt{\frac{2 \cdot (F_{хх}^2 \cdot t_{хх}) + F_р^2 \cdot t_р}{t_ц}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (7350^2 \cdot 4,6) + 59780^2 \cdot 43,4}{52,6}} = 54400 \text{ Н}.$$

7. Предварительная мощность электродвигателя вычисляется по формуле

$$N = \frac{F_{ЭКВ} \cdot Q_{РО}}{V_{РО} \cdot 100 \cdot \eta} = \frac{54400 \cdot 0{,}5 \cdot 10^3}{2{,}3 \cdot 100 \cdot 0{,}8} = 147800 \text{ Вт},$$

где η = 0,8 – КПД механизма.

8. Полученную мощность двигателя необходимо увеличить на 10–15 % для обеспечения надежности работы и возможных перегрузок. Такую мощность называют установочной:

$$N_{УСТ} = 1{,}15 \cdot N = 1{,}15 \cdot 147800 = 169970 \text{ Вт}.$$

Из таблицы видно, что наибольшее соотношение между рабочим усилием и усилием на холостом ходу наблюдается у самого мощного механизма – рабочего органа комбайна. Время цикла работы комбайна одинаково для всех его механизмов и показывает время очистки одной полосы породы (по ширине зарубного бара) в добычном забое. Установочная мощность показывает минимально необходимую мощность электродвигателей механизмов для создания требуемых усилий при работе. После выполнения расчетов построим нагрузочные диаграммы основных механизмов добычного комбайна (рис. 2).

Кинематические схемы рабочего органа комбайна (а), конвейера (б) и погрузочного устройства (в) показаны на рис. 3.

Таблица 2

Результаты расчета параметров механизмов комбайна

Механизм / Параметр	Рабочий орган	Подборщик	Конвейер
Усилие на холостом ходу, F_{XX}, Н	7350	2312	3372
Рабочее усилие, $F_р$, Н	59780	5685	12704
Эквивалентное усилие, $F_{ЭКВ}$, Н	54400	5209	11625
Время холостого хода, t_{XX}, мин	4,6	4,6	4,6
Время работы, $t_р$, мин	43,4	43,4	43,4
Время цикла, $t_Ц$, мин	52,6	52,6	52,6
Предварительная мощность, N, Вт	147800	29597	60549
Установочная мощность, N, кВт	170	34	70

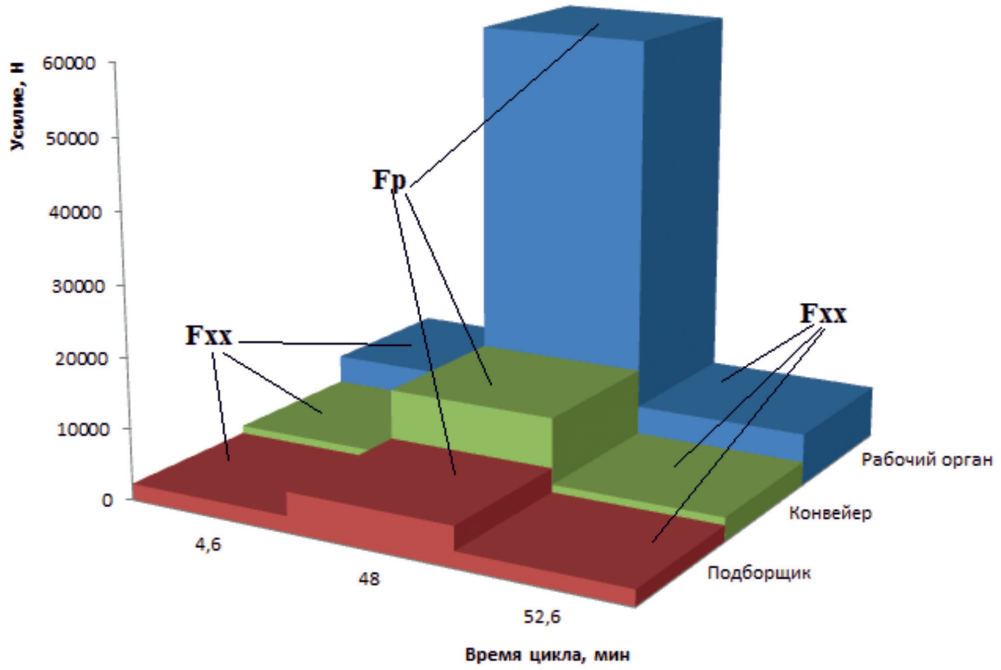


Рис. 2. Нагрузочные диаграммы механизмов комбайна

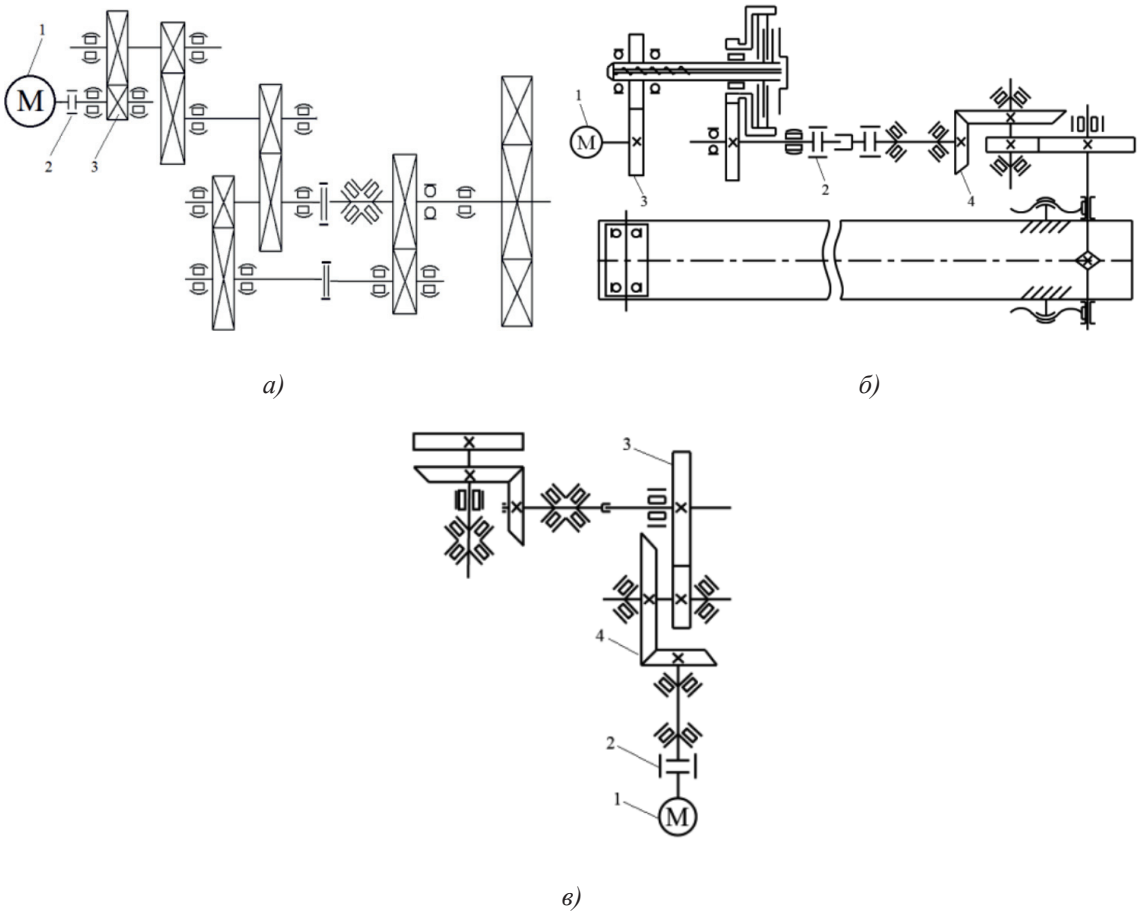


Рис. 3. Кинематические схемы систем электропривода комбайна: а) рабочий орган; б) конвейер; в) подборщик: 1 – электродвигатель, 2 – муфта, 3 – цилиндрическая передача, 4 – коническая передача

Таблица 3

Результаты выбора электродвигателей механизмов комбайна

Параметр / Механизм	Рабочий орган	Подборщик	Конвейер
Марка электродвигателя	4А315М4У3	АИР200М4	АИР250S4
Высота оси вращения вала, h	315 мм	200 мм	250 мм
Мощность, P_H	200 кВт	37 кВт	75 кВт
Синхронная частота вращения, n_1	1500 об/мин	1500 об/мин	1500 об/мин
Номинальная частота вращения, $n_Н$	1480 об/мин	1470 об/мин	1478 об/мин
Номинальное скольжение, $S_Н$	1,3%	2%	1,5%
КПД, η	0,94	0,925	0,94
Коэффициент мощности, Cosφ	0,92	0,89	0,88
Номинальное напряжение, U_H	1140 В	660 В	660 В
Отношение пускового тока к номинальному, $I_П/I_Н$	6,0	7,5	7,5
Отношение пускового момента к номинальному, $M_П/M_Н$	1,3	1,7	1,7
Отношение максимального момента к номинальному, M_{MAX}/M_H	2,2	2,7	2,5
Момент инерции, J	3,63 кг×м^2	0,28 кг×м^2	0,89 кг×м^2
Число пар полюсов, 2р	2	2	2

Исходя из вышеизложенного расчета, построенных нагрузочных диаграмм и приведенных кинематических схем, выбираем из справочника ближайшие по мощности и подходящие по напряжению и режиму работы асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Марки и технические параметры электродвигателей приведем в табл. 3.

Заключение

В результате выполненных расчетов был произведен выбор электродвигателей механизмов добычного комбайна АМ-75. По рассчитанным эквивалентным усилиям были определены предварительная и установочная мощности электродвигателей и в последующем выбраны по справочному каталогу трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Метод эквивалентных усилий хорошо подходит для механизмов вращательного действия и показывает низкую абсолютную погрешность между расчетными и справочными данными. Выполненные расчеты послужат для дальнейшего моделирования работы систем электропривода и электроснабжения добычного комбайна [13–15].

Список литературы

1. Чантурия В.А., Бондарь С.С., Годун К.В., Горячев Б.Е. Современное состояние алмазодобывающей отрасли России и основных алмазодобывающих стран мира // Горный журнал. 2015. № 2. С. 55–58. DOI: 10.17580/gzh.2015.02.10.

2. Чантурия В.А., Годун К.В., Желябовский Ю.Г., Горячев Б.Е. Современное состояние алмазодобывающей отрасли России и основных алмазодобывающих стран мира (часть 2) // Горный журнал. 2015. № 3. С. 67–75. DOI: 10.17580/gzh.2015.03.11.

3. Чаадаев А.С., Зырянов И.В., Кириллов Д.С., Бондаренко И.Ф. Создание и промышленное внедрение систем подземной разработки алмазных месторождений АК «АЛРОСА» (ПАО) // Горный журнал. 2015. № 11. С. 48–52. DOI: 10.17580/gzh.2015.11.10.

4. Махно Д.Е. Проблемы комплексной механизации горных работ при подземной технологии выемки. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. 135 с.

5. Махно Д.Е. К вопросу совершенствования средств комплексной механизации на угольных шахтах // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 10. С. 2–6.

6. Махно Д.Е., Федорко В.П. Проблемы комплексной механизации очистных работ на угольных шахтах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 12 (71). С. 110–113.

7. Однокопылов Г.И., Дементьев Ю.Н., Шевчук В.А. Применение системного анализа для обеспечения эксплуатационной надёжности электрических машин в алмазодобывающей промышленности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 5. С. 131–140. DOI: 10.18799/24131830/2019/5/271.

8. Инструкция по эксплуатации АМ 75/162. VOEST-ALPINE Bergtechnik Ges.m.b.H. A-8740 Zeltweg, AUSTRIA. 01-09-05.

9. Ещин Е.К. Расчеты динамических режимов работы электроприводов самоходных горных машин // Записки Горного института. 2018. Т. 233. С. 534–538. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.534.

10. Качурин Н.М., Сарычева И.В. Разработка оптимизационной модели расчета режимных параметров очистных комбайнов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. № 4. С. 166–177.

11. Хубиева В.М., Петрова М.Н., Семёнов А.С. Проектирование электропривода подборщика путем моделирования. – Saarbrucken: LAP LAMBERT, 2015. 96 с.

12. Копылов К.Н., Кубрин С.С., Закоршменный И.М., Решетняк С.Н. Резервы повышения эффективности работы выемочных участков угольных шахт // Уголь. 2019. № 3 (1116). С. 46–49. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-46-49.

13. Bebikhov Yu.V., Semenov A.S., Yakushev I.A., Kugusheva N.N., Pavlova S.N., Glazun M.A. The application of mathematical simulation for solution of linear algebraic and ordinary differential equations in electrical engineering. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 643. No. 012067. DOI: 10.1088/1757-899X/643/1/012067.

14. Бебихов Ю.В., Семёнов А.С., Семёнова М.Н., Якушев И.А. Анализ методов моделирования технических систем в среде MATLAB // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7. № 3 (26). С. 12. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.26.3.037.

15. Якушев И.А., Семёнова М.Н., Бебихов Ю.В., Семенов А.С. Математическое моделирование сложных технических систем в среде MATLAB. М.: Издательство «Спутник+», 2019. 126 с.

УДК 663.284

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ КРИООБРАБОТКИ СОКОВ И ВИН

Мамедов Б.А., Мамедова А.Р., Фаталиев Х.К.

Азербайджанский государственный аграрный университет, Гянджа,
e-mail: volf.mamedov@mail.ru, ainur_mamedova@mail.ru, hasil.fataliyev@mail.ru

Охлаждение и замораживание в современном мире используется в различных областях, в частности в пищевой промышленности. Существует технология производства столовых белых и красных вин с применением криообработки, которая основана на замораживании виноматериалов с последующим отделением образовавшегося льда. Обычно такую обработку проводят при температуре, близкой к замерзанию, но при этом замерзание вина не происходит. Проанализированы существующие установки криовоздействия. Предложена новая установка для криообработки соков и вин. Описана суть устройства, порядок его работы. Установлено, что в результате размещения дополнительного ледорежущего ножа на опорной доске впереди скребущего ножа, который отделяет лед от опорной доски, ослабляет прочность сцепления слоя льда с поверхностью теплообменника и способствует отделению кристаллов льда в виде чешуек. А также направление дополнительного сильнее скребущего ножа в сторону стенки трубки уменьшает возможность накопления «остатков» льда на поверхности теплообменника, что приводит к снижению термического сопротивления. Предложенная установка, работающая методом криообработки винного материала, отличающаяся от существующих установок, повышает интенсивность возникновения на поверхности теплообменника слоя льда в виде чешуек, обеспечивая тем самым экономический эффект, уменьшая энергетические и трудовые затраты. Предложенная установка утверждена Агентством интеллектуальной собственности Центром экспертизы патентов и товарных знаков Азербайджанской Республики в качестве полезной модели 20.12.2019 г. (№ U 20190056). Разработанное и изготовленное устройство было применено в «Аз-Граната» ООО. Годовая экономическая эффективность составила 6913.63 манат.

Ключевые слова: вино, виноматериал, сок, криообработка, обработка холодом, установка, замораживание

IMPROVING THE INSTALLATION FOR CRYOPROCESSING JUICES AND WINES

Mamedov B.A., Mamedova A.R., Fataliev Kh.K.

Azerbaijan State Agrarian University, Ganja,
e-mail: volf.mamedov@mail.ru, ainur_mamedova@mail.ru, hasil.fataliyev@mail.ru

Cooling and freezing in the modern world is used in various fields, in particular in the food industry. There is a technology for the production of table white and red wines using cryoprocessing, which is based on freezing of wine materials with subsequent separation of the formed ice. Typically, this treatment is carried out at a temperature close to freezing, but the wine either freeze. Existing cryotherapy installations are analyzed. A new installation for cryoprocessing juices and wines is proposed. The essence of the device and its operation are described. It was found that as a result of placing an additional ice-cutting knife on the base plate in front of the scraper knife, which separates the ice from the base plate, weakens the adhesion of the ice layer to the surface of the heat exchanger and promotes the separation of ice crystals in the form of flakes. And also the direction of an additional stronger scraping knife towards the side of the tube wall reduces the possibility of accumulation of «residues» of ice on the surface of the heat exchanger, which leads to a decrease in thermal resistance. The proposed installation operating by the method of cryoprocessing of wine material, which differs from existing installations, increasing the intensity of the appearance of ice in the form of flakes on the surface of the heat exchanger, thereby providing an economic effect while reducing energy and labor costs. The proposed installation was approved by the Intellectual Property Agency by the Center for the Examination of Patents and Trademarks of the Republic of Azerbaijan as a utility model in 12/20/2019 (No. U 20190056). The designed and manufactured device was used in Az-Granat LLC. Annualeconom icefficiencyamountedto 6913.63 manat.

Keywords: wine, wine material, juice, cryoprocessing, cold treatment, installation, freezing

Охлаждение и замораживание в современном мире используется в различных областях, в частности в пищевой промышленности. Существует технология производства столовых белых и красных вин с применением криообработки, которая основана на замораживании виноматериалов с последующим отделением образовавшегося льда. Обычно такую обработку проводят при температуре, близкой к замерзанию, но при этом замерзание вина не происходит.

Установлено, что в результате криовоздействия на виноматериалы в них увеличивается объемная доля этилового спирта, массовая концентрация фенольных, а также экстрактивных веществ. В результате криовоздействия улучшаются органолептические показатели виноматериалов и вин, в том числе вкус и аромат. А также криообработка целесообразна при производстве соков для их концентрирования.

В последние годы интерес к методу криовоздействия значительно вырос. В связи

с этим исследования, направленные на изучение целесообразности применения криообработки в технологии столовых вин, являются актуальными.

Целью исследования является усовершенствование технологии приготовления соков и вин в применением криовоздействия.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования взяты белые и красные винограды, выращиваемые в республике, их сусла и изготовливаемые из них виноматериалы, технологии приготовления столовых и шампанских вин с применением на технологической линии методов криообработки и усовершенствованный кристаллизатор. Методика исследования предусматривала проведение анализов на всех этапов производства, придерживания системно-технологического подхода.

Результаты исследования и их обсуждение

Известен генератор, изготовляющий чешуйчатый лед [1]. Эта установка состоит из вертикального цилиндра-теплообменника с трубами, дающими охлаждающий агент и выпускающими пар, передающего вала, связанного с распределителем передающим на внешнюю поверхность этого цилиндра жидкость и ножа, отделяющего лед от этой поверхности. Здесь нож, отделяющий и выделяющий лед, снабжен струной. Основным недостатком этой установки является то, что нож способен двигаться на определенном расстоянии, фиксированном к ледобразующей поверхности.

Известны также опосредованные охлаждающие кристаллизаторы. В них слой льда создается путем бесперебойного замораживания жидкого продукта, вытекающего с внешней поверхности внутреннего охлаждающего вертикального цилиндра. Этот слой льда выделяется путем соскабливания подвижными или неподвижными ножами. Недостаток этой установки состоит в том, что из-за постоянного содержания на поверхности теплообменника «остаточного» слоя льда и создания из-за этого дополнительного термического сопротивления интенсивность замерзания кристаллов льда снижается [2–4].

Более близкой к варианту идеи установкой является криозагуститель жидких и тестообразных пищевых продуктов [5]. Установка снабжена вертикальными трубками, по которым внутри путем распределителей течет охлаждающий агент. На трубки подается жидкий или тестообразный продукт. Под трубками помещен поднос, принимающий продукт вместе с водой. Ножи, соскабливающие лед, размещены на опорной доске и двигаются вдоль трубок вперед-назад. Ножи, являясь кольцевыми, могут менять угол наклона лезвия по отношению к оси трубки. Основание ножей прикрепляется к несущему звену. Лезвие каждого ножа прислоняется к профилирующему несущему звену.

Основной недостаток этой установки заключается в том, что ножи, отделяющие лед от поверхности труб, из-за того, что могут скользить только по поверхности льда только на фиксированном расстоянии, являются причиной того, что лед падает на поднос не в виде чешуйчатых кристаллов, а в виде поверхности инея. Для того, чтобы повысить возможность таяния и превращения в жидкость этих льдинок, которые выпадают не в виде чешуйчатых кристаллов, требуется повторно провести продукт через установку, что снижает продуктивность установки. В то же время из-за того, что на трубках постоянно остается лед, по причине возрастания термического сопротивления интенсивность замерзания жидкости, текущей по слою льда, снижается.

Задача усовершенствования состоит в том, чтобы увеличить продуктивность и облегчить отделение с поверхности теплообменника с помощью криовоздействия замерзшего в виде ледяных чешуек водного содержания винного материала.

Задача решается следующим образом. Установка криовоздействия винного материала состоит из вертикальных трубок, имеющих трубочки, для того чтобы подавать охлаждающий агент и выпускать его пар. Для подачи продукта на внешнюю теплообменную поверхность трубок используется поднос с распределительными отверстиями. Установка также состоит из подноса, принимающего загустевающий продукт и водяной лед, передающего вала, из струнных ножей снимающих лед с наружной поверхности трубок, изготовленных в виде кольца, меняющего угол наклона лезвия ножа относительно оси трубки, основа которого связана с гидроцилиндром и способным двигаться по профилированному звеньевому носителю, из опорной доски двигающимся вперед-назад относительно внешних поверхностей вертикальных трубок, ножа в форме «г», прикрепленного к этой доске впереди ножа, счищающего лед с опорной доски.

Каждый из добавленных для усовершенствования элементов служит для повышения продуктивности установки криовоздействия винных материалов и более легкого выделения с поверхности тепло-

обменника полученной из содержащейся в них воды ледяных чешуек.

Размещение дополнительного ледорежущего ножа на опорной доске впереди скребущего ножа, отделяющего лед от опорной доски, ослабляет прочность сцепления слоя льда с поверхностью теплообменника и из-за скребущего воздействия сзади создает условия для отделения кристаллов льда в виде чешуек. Направление дополнительного режущего ножа сильнее скребущего ножа в сторону стенки трубки уменьшает возможность накопления «остатков» льда на поверхности теплообменника, что приводит к снижению термического сопротивления, то есть создает условия для более интенсивного замерзания слоя продуктов.

Экспериментальная установка криовоздействия, несущая в себе элементы усовершенствования, состоит из кристаллизаторов, что схематически описано на рисунке.

Согласно схеме приведенной на рисунке a, b, c, установка состоит из имеющих между собой интервалы, находящихся в вертикальном положении параллельно стоящих трубок – 1, трубочек, передающих им и выпускающими – 3 охлаждающий агент – 2, из подноса – 4, собирающего продукт, распределяющих отверстий – 5, подноса – 6, поддерживающих колонн – 7, 8, нижней поддерживающей доски – 9, находящейся на ней подушки – 10, и прикрепленного винта – 11, связанного с ним движущейся доски – 12, опорной доски – 13 и размещенного на ней передаточного механизма – 14.

Профилированные концентрически к оси вертикальных трубок – 1 опорные звенья – 15 прикреплены к подвижной доске – 12 (рис. 4.1, c). К ним прислоняются звеньевые ножи – 16 и их лезвия – 17. Звеньевые ножи – 16, их хвосты – 18 прикрепляются к несущему звену – 19. К точке – 15 корпуса профилированной опоры лезвий – 17 звеньевых ножей прикрепляются режущие ножи – 20 в форме «r». Несущее звено – 19 с помощью звена – штока – 21 связано с гидропередатчиком – 22, который в свою очередь связан с трубкой – 23, дающей гидравлическую силу.

Трубочки – 2 соединены с насосом охлаждающего агента – 24, другие трубочки – 3 соединены с ресивером – 25, который в свою очередь соединен с компрессором – 26 (рисунок, a). Компрессор – 26 соединен с конденсатором – 27, линейным ресивером – 28 и вентилем дросселя – 29.

Над подносом – 6 размещена подающая продукт трубочка – 30. Собирающий продукт поднос – 4 соединен с общим сборником – 31, который в свою очередь связан с насосом продуктов – 32 и ледосборником – 33.

Установка работает нижеследующим образом.

С помощью трубочки – 30 в поднос – 6, а оттуда, проходя через распределительные отверстия – 5, продукт (винный материал) подается на вертикальные трубки – 1. Жидкость под своей тяжестью в виде пленки – 34 стекает в собирающий продукт поднос – 4. Жидкий охлаждающий агент с помощью насоса – 24 подается ресивером – 24 трубочкам – 2 и стекает по внутренним поверхностям трубок – 1 в виде пленки – 35. В результате теплообмена между жидким продуктом и жидким охлаждающим агентом охлаждающий агент закипает, его пар и превращенная в пар жидкость посредством трубочек – 3 передается ресиверу – 25. Жидкий охлаждающий агент с помощью насоса – 24 подается в трубочки – 2. Пары охлаждающего агента же через ресивер – 25 посредством компрессора подается в конденсатор – 27. Здесь конденсационная жидкость в виде охлаждающего агента течет в линейный ресивер – 28. Отсюда, регулируясь с помощью дроссель – вентиля – 29, она подается в циркуляционный ресивер – 25. Из этого ресивера – 25 дросселирующие пары подаются в компрессор – 26, жидкий охлаждающий агент течет в насос – 24. На этом цикл охлаждающего агента завершается.

Винный материал подается из трубочки – 30 в приемный поднос – 6. Отсюда он через распределяющие отверстия – 5 трубками – 1 течет по внешней поверхности теплообменника. Когда жидкая пленка – 34 течет сверху вниз по поверхности трубок – 1, из жидкого продукта получается тепло нагревания – охлаждения и тепло фазового превращения, в это время пары, выделенные из жидкого охлаждающего агента – 35 вместе с неиспарившимся охлаждающим агентом, подаются с помощью трубочки – 3 в нижней части трубки – 1 в циркуляционный ресивер – 25 и пленку продукта – на внешнюю поверхность трубки, образуя слой льда (кристаллы) – 36.

Загустевший винный материал стекает в находящийся внизу поднос – продуктосборник – 4, оттуда в общий сборник – 31, а оттуда с помощью насоса – 32 загустевший винный материал подается на следующий этап, или же уходит на хранение. В условиях нормальной эксплуатации слой льда – 36, образующийся в основном на поверхности трубки – 1, разбивается запускающимися в работу ножами 16, 20. Они связаны с подающим механизмом – 14, и работают посредством этого механизма.

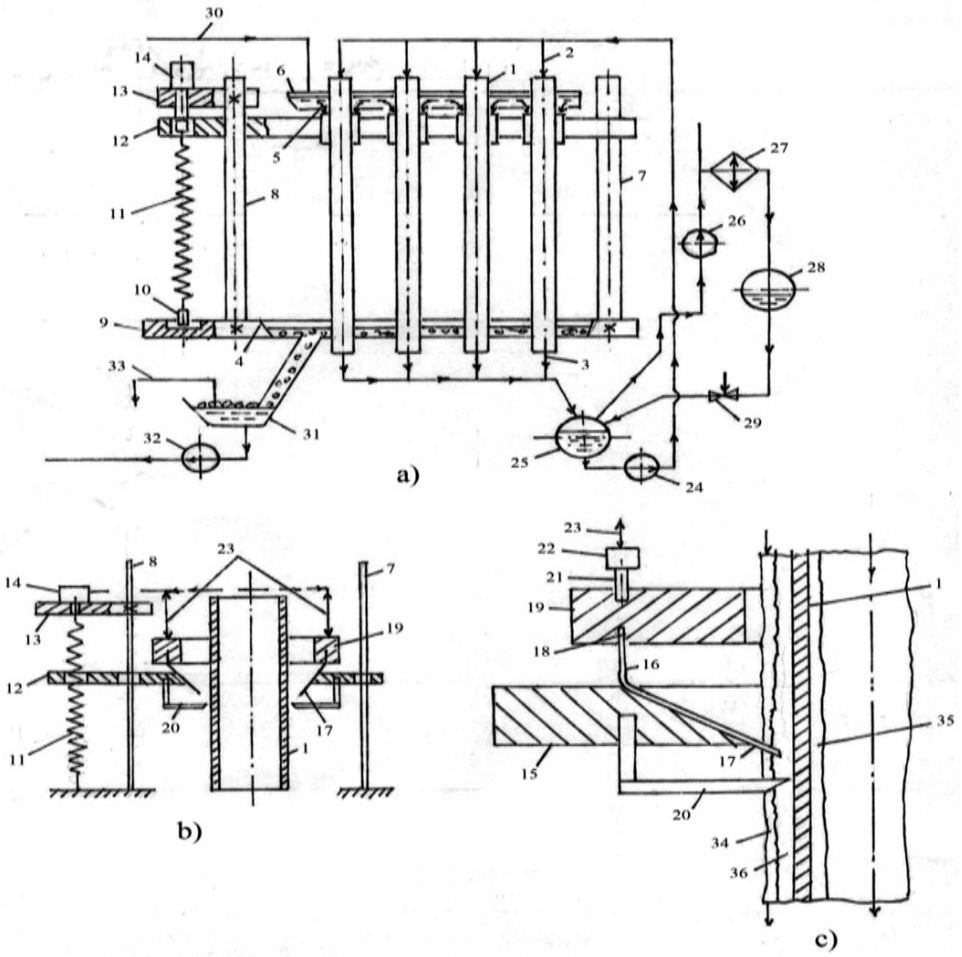


Схема экспериментальной установки криовоздействия: a) взаимосвязь принципиальной схемы установки со схемой холодильной машины; b) принципиальная схема соединения, обеспечивающего движение режущих ножей вперед-назад; c) схема соединения, формирующего профиль ножей, крошащих лед в виде чешуек: 1 – трубка; 2, 3 – трубочка; 4, 6 – поднос; 5 – распределительные отверстия; 7, 8 – опорные подпорки; 9 – опорная доска; 10 – подушка; 11 – винт; 12 – движущаяся доска; 13 – опорная доска; 14 – передаточный механизм; 15 – опорное звено; 16 – нож; 17 – лезвие ножа; 18 – хвост ножа; 19 – несущее звено; 20 – нож в форме «г»; 21 – шток; 22 – гидропередатчик; 23 – трубка; 24 – насос; 25 – циркуляционный ресивер; 26 – компрессор; 27 – конденсатор; 28 – линейный ресивер; 29 – вентиль; 30 – трубочка; 31 – сборник; 32 – насос; 33 – ледосборник; 34 – жидкая пленка; 35, 36 – слой льда

При запуске подающего механизма – 14 в трубопровод – 23 и 22 подается жидкость, и в результате шток – 21 нажимает и двигает вниз несущее звено – 19. В это время эластичное лезвие – 17 ножа – 16 опорного звена – 15 по профилированной внутренней поверхности движется вниз. Лезвие – 17 входит в наличествующую глубину слоя льда – 35 (с условием, что оно не прикасается к трубке – 1, в противном случае лезвия этих ножей – 16 из – за обладания шириной, позволяющей соскоблить, могут упереться в поверхность трубки – 1).

В то же время подающий механизм – 14, находящийся в кинематической связи с движущейся доской – 12 и посаженный на подушку – 10, крутит ведущий винт – 11. Движущаяся доска – 12 движется вдоль опорных стояков – 7 и 8. Профилированное звено – 15, связанное с движущейся доской – 12, также движется вдоль трубок – 1. Разрезает слой льда – 36 и в виде чешуек отделяет от поверхности трубки – 1. Чешуйки льда сыплются на поднос – 4 и оттуда вместе с загустевшим винным материалом подаются в общий сборник. Отсюда частички льда отделяются льдосборником – 32, и передается на технологическое использование. Таким образом, рабочий цикл установки с винным материалом (продуктом) завершается.

Когда движущаяся доска – 12 доходит до положения нижнего предела, обеспечивается реверсирование движения со стороны передаточного механизма – 14. В это время движущаяся доска – 12 возвращается в верхнее положение. С началом реверса сток – 21 подающего – 22 с помощью несущего звена – 19 переводится в верхнее положение, нож – 16 и лезвие – 17 отделяются от поверхности трубок и внутренней поверхности профилированного опорного звена – 15, создает условия для стекания винного материала по поверхности трубки – 1. При достижении движущейся доски – 12 верхнего предела подающий механизм – 14 останавливается до второго такта отделения льда. Рабочий цикл установки завершается отделением путем разрезания слоя льда – 36.

Заключение

Предложенная установка, работающая методом криовоздействия винного материала, отличающаяся от существующих установок, повышая интенсивность возникновения на поверхности теплообменника слоя льда, увеличивая продуктивность и способствуя отделению всего слоя льда в виде чешуек обеспечивает экономическую целесообразность. Установлено, что в результате криовоздействия на белые и красные виноматериалы доля этилового спирта в них увеличивается в 1,5–1,9, а фенольных и экстрактивных веществ – в 1,3–1,6 раза [6]. При этом в них уменьшается концентрация винной и яблочной кислот и катионов калия.

Предложенная установка утверждена Агентством интеллектуальной собственности Центром экспертизы патентов и товарных знаков Азербайджанской Республики в качестве полезной модели в 09.12.2019 г. (№ U 20190056) [7]. Разработанное и изготовленное устройство было применено в «Аз-Граната» ООО. Годовая экономическая эффективность составило 6913.63 манат.

Список литературы

1. А.с. 213044 СССР, МПК F 25 c 5/03. Льдогенератор для производства чешуйчатого льда / Дворноков Д.П., Конокотин Г.С., Линденбаум Я.М. (СССР). 760479/28-13; заявлено 22.01.62; опуб. 12.03.1968, Бюл. 10.

2. Ozhan Sincar. Kalecik Karası üzüm üzümlerinden kırmızı şarap üretiminde soğuk maserasyon uygulamalarının arama ve antosiyanın bileşikleri üzerine etkileri: Yüksek Lisans Tezi. Turkiye, Adana, 2010. 62 p.

3. Qianwen Zhang, Xianagyu Sun, Qiming Sheng, Jinquan Chen, Weidong Huang, Jicheng Zhan. Effect of Suspension Freeze-concentration Technology on the Quality of Wine. S. Afr. J. Enol. Vitic. Stellenbosch. 2016. № 1. vol. 37. [Electronic resource]. URL: http://www.scielo.org.za/pdf/sajev/v37n1/06.pdf (date of access: 21.01.2020).

4. Панова Э.П., Кацева Г.Н., Бурда В.Е. Влияние низких температур на физико-химические свойства виноградного сусла // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». Симферополь, 2010. Т. 23 (62). № 1. С. 208–216.

5. Шляховецкий Д.В., Шляховецкий В.М. Устройство для криоконцентрирования жидких и пластообразных продуктов // Патент РФ № 2131095. Патентообладатель «Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции». 1999. [Электронный ресурс]. URL: http://www.freepatent.ru/patents/2131095 (дата обращения: 21.01.2020).

6. Мамедов Б.А., Фаталиев Х.К., Исследование брожения виноградного сусла в патоке // Виноделие и виноградарство. 2017. № 5. С. 8–11.

7. Мамедов Б.А., Балогланова К.В., Фаталиев Х.К., Халилов Р.Т. Устройство для криообработки виноматериалов. Баку, 2019, U 20190056, полезная модель. (Агентство интеллектуальной собственности Центр экспертизы патентов и товарных знаков Азербайджанской Республики).

СТАТЬИ

УДК 535.343.2:548.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСПАДА РАДИАЦИОННО-НАВЕДЕННЫХ ДЕФЕКТОВ В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

Арапов Б.А., Арапов Т.Б., Орозбаева А.А.

Ошский государственный университет, Ош, e-mail: baish-arapov@yandex.ru, bekboto-08@mail.ru

На основе математического моделирования получено кинетическое уравнение термического распада радиационных дефектов в ионных кристаллах, для коррелированных и некоррелированных пар центров и подвижных дефектов в ионных кристаллах. Для многостадийных процессов кинетика распада определяется концентрацией коррелированных и некоррелированных пар рекомбинационных дефектов. Коррелируемые с центрами окраски подвижные дефекты, вызывавщие распад на второй стадии того же типа, что и у дефектов разрушителей, вызвавших распад на первой стадии, но образующейся в ходе релаксации, тогда обе стадии распада радиационных дефектов происходят по реакции первого порядка. Если коррелируемые с центрами окраски подвижные дефекты другого типа, чем те, которые вызывали распад центров окраски на первой стадии, то вторая стадия распада радиационных дефектов также происходит по кинетике первого порядка. Некоррелированными дефектами являются дефекты того же типа, что и вызвали распад центров на первой стадии термического распада радиационных дефектов, но разлетевшиеся от центра данного типа на более далекие расстояния, чем дефекты, вызвавшие первую стадию, тогда на оставшиеся концентрации центров окраски действуют некоррелированные дефекты того же типа и вторая стадия распада радиационных дефектов происходит по кинетике второго порядка.

Ключевые слова: кинетика распада, радиационные дефекты, ионные кристаллы, коррелированные пары, некоррелированные пары, релаксационные процессы

MODELING OF THE KINETICS FOR DECOMPOSITION OF RADIATION-INDUCED DEFECTS IN ION CRYSTALS

Arapov B.A., Arapov T.B., Orozbaeva A.A.

Osh State University, Osh, e-mail: baish-arapov@yandex.ru, bekboto-08@mail.ru

Based on the mathematical modeling, kinetic equation for the thermal decomposition of radiation-induced defects in ionic crystals has been obtained for correlated and uncorrelated pairs of centers and mobile defects in ionic crystals. For two-stage processes, the decay kinetics was determined by the concentration of correlated and uncorrelated pairs of recombination defects. Mobile damage-destroyers correlated with color centers, cause disintegration at the second stage of the same type as the defects of the destroyers, which caused disintegration at the first stage, but formed during relaxation. Both stages of disintegration during radiation defects occur by the first-order reaction. If the mobile defects correlated with the color centers are destructors of a different type than those that caused the decay of the color centers at the first stage, then the second stage of the decay radiation defects also occurs according to the first-order kinetics. Uncorrelated defects are defects of the same type that caused the decay of centers in the first stage of thermal decay in radiation defects, but scattered from the center of this type to a more distant distance than the destructive defects that caused the first stage, then the remaining concentrations of color centers are affected by uncorrelated defects of the same type and the second stage of decay in radiation defects occurs by second-order kinetics.

Keywords*:* **decay kinetics, radiation defects, ionic crystals, correlated pairs, uncorrelated pairs, relaxation processes**

Радиационно-стойкие материалы являются важными средствами для применения в термоядерных ректорах. Прогнозировать, т.е. моделировать кинетику диффузионно-управляемого накопления и термического отжига радиационно-индуцированных дефектов важно в рассмотрении современного понимания процессов термического отжига в твердых телах. В настоящее время твердо установлено, что в образовании, распаде и взаимопревращении радиационно-наведенных дефектов определенную роль играют подвижные ионные дефекты, образующиеся при радиационно-стимулированных и термостимулированных процессах в ионных кристаллах [1–4]. Радиационно образованные подвижные дефекты имеют конечную длину свободного пробега, поэтому для описания кинетики накопления и термического отжига дефектов рассматривают различные подходы. В работах [5, 6] разработан и успешно применен теоретический подход, описывающих пространственное распределение сходных и разнородных дефектов, который позволяет изучать кинетику дефектов.

На основе детального исследования установлено, что процессы термического, фототермического отжига и тушения свечения радиационно-наведенных дефектов в щелочно-галоидных кристаллах имеют многостадийный характер. Однако кинетика и характер процессов, приводящих к многостадийному распаду радиационно-

наведенных дефектов, теоретически обоснованы недостаточно.

Для моделирования многостадийного характера термического и фототермического отжига дефектов в твердых телах необходимо сперва остановить процесс отжига на определенной стадии процесса, затем надо приводить к отжигу дефектов в следующей стадии процесса.

В работах [7, 8], при использовании диффузионной теории рекомбинации, получены дифференциальные уравнения для отжига радиационных дефектов для коррелированной пары частиц. Генетически связанные, коррелированные между собой пары частиц характеризуются однокомпонентной парой N.

Однако некоррелированные, т.е. генетически не связанные между собой радиационно-наведенные центры и подвижные дефекты на основе вышеуказанной теории не рассмотрены.

Цель исследования: рассмотрение определения кинетики и механизмы термического отжига генетически не связанных некоррелированных дефектов в ионных кристаллах.

При этом было использовано дифференциальное уравнение для описания рекомбинации генетически не связанных между собой пар в следующем виде (центры окраски N и подвижные дефекты n). Для некоррелированных между собой рекомбинационных частиц каждый тип частиц характеризуется своей концентрацией $N(t)$ и $n(t)$.

Концентрации некоррелированных частиц можно теперь изменять различно, увеличивая одни и уменьшая другие. Тогда закономерности их рекомбинаций будут определяться от рекомбинации некоррелированных между собой частиц N и n. Поэтому для длительных релаксационных процессов имеют значение рекомбинации коррелированных или некоррелированных частиц.

Материалы и методы исследования

Исходя из представлений диффузионной теории рекомбинации для генетически не связанных между собой центров и подвижных диффузионных дефектов, многостадийные кривые термического отжига, происходящие по реакции первого порядка, получить не удалось.

Для решения этого вопроса в этом случае были использованы математические методы моделирования представления диффузионной теории рекомбинации, когда корреляция подвижных дефектов с концентрацией центров окраски данного типа происходит частично и взаимодействует так же, как генетически связанные, коррелированные пары.

Если N – концентрация всех распадающихся дефектов данного типа, а $\left(N-\Delta N_0\right)$ – концентрации центров коррелированных с дефектами-разрушителями, то после рекомбинации концентрация оставшихся центров – ΔN_0. Если исчерпается концентрация центров N_0 на концентрации $\frac{\Delta N_{01}}{N_0}$, то после первой стадии термического отжига процесс должен остановиться после первой стадии.

На основе диффузионной теории рекомбинации в работах [7, 8] предложено уравнение для скорости рекомбинации коррелированных пар $\frac{dN}{dt}$ под действием частично коррелированных дефектов-разрушителей.

$$-\frac{dN(t)}{dt}=4\pi r_1 D_1(N-\Delta N_{01}). \tag{1}$$

Для изотермических условий это уравнение имеет вид

$$-\frac{dN(T)}{dT}=\frac{4\pi r_0}{\beta}D_{01}e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}(N-\Delta N_{01}). \tag{2}$$

Решение этого дифференциального уравнения будет в следующим виде:

$$\frac{N}{N_0}=\left\{\left[\left(1-\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\exp\left(-\frac{4\pi r_{01}}{\beta}D_{01}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}dT\right)\right]^{-1}+\left(\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\right\}. \tag{3}$$

Тогда процесс, определяющийся этим выражением, приводит к распаду на первой стадии термического отжига и уменьшению относительной концентрации центров до $\left(\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)$, так как второй сомножитель первого слагаемого уменьшается экспоненциально с ростом температуры и стремится к нулю. Кинетика этого процесса приведена на рис. 1.

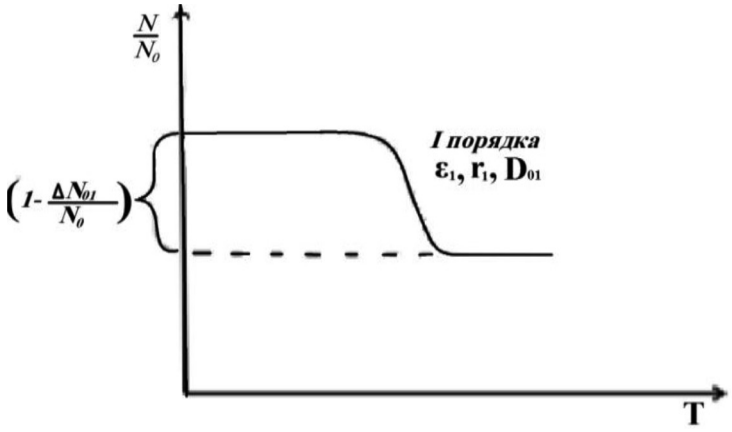


Рис. 1. Кинетика процесса

Для дальнейшего распада центров окраски, оставшихся после первой стадии ТО, необходимо дальнейшее действие ионов-разрушителей.

Результаты исследования и их обсуждение

Характер дальнейшего распада центров зависит от таких факторов, какие значения имеют величины ΔN_{01}, т.е. от концентрации центров, оставшихся после первой стадии термического отжига дефектов.

Рассмотрим отдельные случаи:

1) Если ΔN_{01} – коррелированная пара центров и подвижных дефектов, тогда вторая стадия кинетики процесса термического отжига происходит по реакции первого порядка.

В этом случае для коррелированных пар центров окраски возможны два случая.

1а) Коррелируемые с центрами окраски дефекты-разрушители вызывают распад центров окраски на второй стадии ТО того же типа, что и у дефектов разрушителей, вызвавших распад центров окраски на первой стадии. Но дефекты-разрушители, вызывающие распад центров окраски на второй стадии, образуются в ходе релаксации.

В этом случае на оставшиеся концентрации центров окраски $\frac{\Delta N_{01}}{N_0}$ действуют коррелированные дефекты того же типа, но оставшиеся из комплементарных микродефектов. Они доведут эту корреляцию до нуля, и термический отжиг доходит до конца. Тогда имеем двухстадийные кривые ТО, обе стадии которого происходят по реакции первого порядка.

В этом случае кинетическое уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{N}{N_0}=\left[\left(1-\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\exp\left(-\frac{4\pi r_{01}}{\beta}D_{01}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}dT\right)+\left(\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\right]\times\left[\exp\left(-\frac{4\pi r_{02}}{\beta}D_{01}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}}dT\right)\right]. \quad (4)$$

Вторая стадия ТО идет по реакции первого порядка до конца, некоррелированными дефектами того же типа, но образующейся из коррелированных дефектов образующихся в ходе релаксации, из комплементарных микродефектов (рис. 2, 1а случай).

1б) Коррелируемые с центрами данного типа дефекты-разрушители другого типа, чем те, которые вызывали распад центров окраски на первой стадии ТО, и имеют характеристики $\varepsilon_2, r_{02}, D_{02}$. В этом случае вторая стадия тоже происходит по кинетике первого порядка. На оставшиеся концентрации центров окраски $\frac{\Delta N_{01}}{N_0}$ действуют коррелированные дефекты-разрушители другого типа: $\varepsilon_2, r_{02}, D_{02}$. Тогда также имеем двухстадийную кривую, в которой обе стадии происходят по кинетике первого порядка (рис. 2, 1б случай).

$$\frac{N}{N_0}=\left[\left(1-\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\exp\left(-\frac{4\pi r_{01}}{\beta}D_{01}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}}dT\right)+\left(\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\right]\times\left[\exp\left(-\frac{4\pi r_{02}}{\beta}D_{02}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon_2}{kT}}dT\right)\right] \quad (5)$$

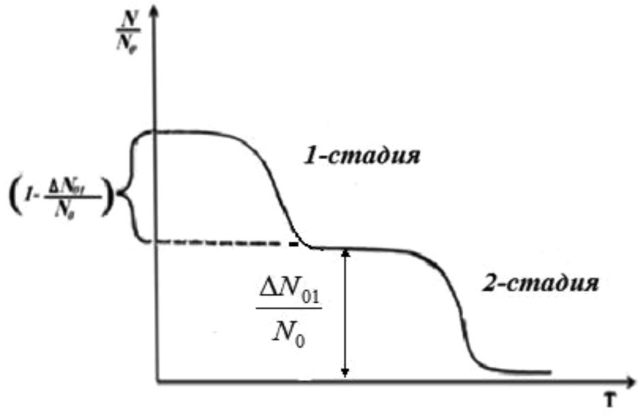


Рис. 2. Температурная зависимость относительной концентрации центров окраски для некоррелированных и коррелированных дефектов: 1а – случай: 1 – стадия: 1 – порядка; 2 – стадия: I – порядка; 1б – случай: 1 – стадия: 1 – порядка; 2 – стадия: I – порядка; 2а случай: 1 – стадия: 1 – порядка; 2 – стадия: II – порядка; 2б – случай: 1 – стадия: 1 – порядка; 2 – стадия: II – порядка; 2в – случай: 1 – стадия: 1 – порядка; 2 – стадия: II – порядка

2) Если ΔN_{01} – некоррелированная пара центров и дефектов-разрушителей, тогда вторая стадия ТО протекает по реакции второго порядка. В случае для некоррелированных пар центров и дефектов-разрушителей возможны три случая.

2а) Некоррелированными дефектами являются дефекты того же типа, что и вызвали распад центров на первой стадии термического отжига, но разлетевшиеся от центра данного типа на более далекие расстояния, чем дефекты-разрушители, вызвавшие первую стадию.

В этом случае на оставшиеся концентрации центров $\frac{\Delta N_{01}}{N_0}$ действуют некоррелированные дефекты того же типа, что и вызвавшие первую стадию, но разлетевшиеся друг от друга более далекие расстояния (рис. 2, 2а случай). Тогда имеем

$$\frac{N}{N_0}=\left[\left(1-\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\exp\left(-\frac{4\pi r_{01}}{\beta}D_{01}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}}dT\right)+\left(\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\right]\times\left[1+\frac{4\pi r_{02}}{\beta}D_{01}\Delta N_1\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}}dT\right]. \quad (6)$$

2б) Некоррелированными дефектами являются дефекты того же типа, что и те, которые вызвали распад центров данного типа на первой стадии ТО, но которые образуются от микродефектов, некоррелированных с центрами, имеющими очень большую концентрацию. Тогда вторая стадия ТО, образующаяся от некоррелированных дефектов большой концентрации, идет по реакции второго порядка.

В этом случае на оставшиеся концентрации центров окраски действуют некоррелированные дефекты того же типа, образующиеся в ходе релаксации, отщепленные от некоррелированных микродефектов, концентрации которых достаточно большие (рис. 2, 2б случай). Тогда имеем

$$\frac{N}{N_0}=\left[\left(1-\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\exp\left(-\frac{4\pi r_{01}}{\beta}D_{01}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}dT\right)+\left(\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\right]\times\exp\left(-\frac{4\pi r_{02}}{\beta}D_{02}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon_2}{kT}}dT\right). \quad (7)$$

2в) Некореллированными дефектами являются дефекты другого типа, чем те, которые привели к первой стадии ТО и имеют характеристики $\varepsilon_2, r_{02}, D_{02}$. В этом случае на оставшиеся концентрации центров действуют некоррелированные пары дефектов другого сорта. Тогда имеем

$$\frac{N}{N_0}=\left[\left(1-\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\exp\left(-\frac{4\pi r_{01}}{\beta}D_{01}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon_1}{kT}}dT\right)+\left(\frac{\Delta N_{01}}{N_0}\right)\right]\times\left(1+\frac{4\pi r_{02}}{\beta}\frac{D_{02}}{\Delta N_{01}}\int_{T_0}^{T}e^{-\frac{\varepsilon_2}{kT}}dT\right)^{-1}. \quad (8)$$

В этом случае вторая стадия ТО происходит по кинетике второго порядка до конца, некоррелированными дефектами другого типа, чем на стадии первой стадии термического отжига (рис. 2, 2в случай).

Заключение

Из вышеизложенных данных следуют выводы:

1. Получены кинетические уравнения и их решения для изотермического случая, для коррелированных и некоррелированных пар рекомбинационных дефектов в ионных кристаллах. Кинетика и механизм термического распада радиационных дефектов определяется коррелированностью с центрами окраски подвижных дефектов и соотношениями между начальными концентрациями радиационных центров и подвижных диффузионных дефектов.

2. Коррелируемые с центрами окраски подвижные дефекты, вызывавщие распад на второй стадии того же типа, что и у дефектов-разрушителей, вызвавших распад на первой стадии, но образующейся в ходе релаксации, тогда обе стадии распада радиационных дефектов происходят по реакции первого порядка.

3. Если подвижные дефекты другого сорта, чем тех дефектов которые вызывали распад центров окраски на первой стадии, однако коррелируемые с центрами окраски, тогда вторая стадия распада радиационных дефектов также происходит по кинетике первого порядка.

4. Если подвижные диффузионные дефекты, вызвавщих термический распад во второй стадии некоррелированы с центрами окраски, тогда вторая стадия распада радиационных дефектов происходит по кинетике второго порядка.

Список литературы

1. Лущик Ч.Б., Лущик А.Ч. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. М.: Наука, 1989. 264 с.

2. Singh N., Singh V., Watanabe S., T.K. Gundu Rao, J.F.D. Chubaci, Cano N.F., Pathak M.S., Singh Pramod K., Dhoble S.J. Studies of Radiation-Induced Defects in Li2SiO3:Sm Phosphor Material. Journal of Electronic Materials. 2017. V. 46. P. 451–457.

3. Abulova F., Useinov A., Akilbekov A.T., Kotomin E.A., Piskunov S., Lisitsyn V.M. First-principles calculations of radiation defects in magnesium fluorite. Izv. vuzov fizika (Russian Journal of Physics) 2012. 55 № 11. P. 9–12.

4. Popov A.I., Kotomin E.A., Kuzovkov V.N., Lushchik A. Thermal annealing of F-type centers in irradiated solids: A critical analysis of experimental and theoretical studies. Europhysical conference on defects in insulation materials-2018. Poland. 2018. P. 27–28.

5. Kotomin E., Kuzovkov V., Popov A., Vila R. Kinetics of F center annealing and colloid formation in Al_2O_3. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B Beam Interactions with Materials and Atoms. B. 374. 2016. P. 107–110.

6. Kuzovkov V., Kotomin E., Popov A. Kinetics of the electronic center annealing in Al_2O_3 crystals. Journal of Nuclear Materials. 2018. V. 502. P. 295–300.

7. Арапов Б., Орозбаева А.А., Арапов Т.Б. Кинетика ионно-диффузионных процессов распада радиационных дефектов в ионных кристаллах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 8–1. С. 30–32.

8. Орозбаева А.А., Аманбай К.А., Арапов Т.Б. Кинетика процесса моно- и бимолекулярного тущения свечения центров в облученных кристаллах // Сборник трудов XI Иссык-Кульской международной школы-конференции по радиационной физике твердого тела SCORPh-2015. Бишкек, 2015. С. 43–45.

УДК 537.8

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОМ ОТРАЖЕНИЯ ОТ ТОНКОЙ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЕНКИ

Головкина М.В.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, e-mail: nauka77@yandex.ru

В работе рассматриваются электродинамические свойства тонкопленочных высокотемпературных сверхпроводников, находящихся в смешанном состоянии. Магнитные свойства тонкой сверхпроводящей пленки учитываются в рамках модели динамической магнитной восприимчивости для случая линейного отклика решетки вихрей Абрикосова на малое внешнее воздействие. Учитывается зависимость магнитной проницаемости сверхпроводника от внешнего магнитного поля, температуры и характерных размеров сверхпроводника. Проводятся расчеты коэффициента отражения от тонкой сверхпроводящей пленки из иттриевой керамики, находящейся на диэлектрической подложке для случая, когда внешнее магнитное поле направлено нормально поверхности. Результаты проведенных расчетов показывают, что коэффициент отражения от исследуемой структуры существенным образом зависит как от величины приложенного внешнего магнитного поля, так и от температуры. Особенностью рассматриваемой структуры является наличие резкого максимума в зависимости коэффициента отражения как от частоты, так и от величины внешнего магнитного поля. Результаты, полученные в работе, показывают, что тонкая пленка сверхпроводника второго рода, находящегося в смешанном состоянии, может обладать достаточно сильными магнитными свойствами, достаточными для того, чтобы существенным образом влиять на величину коэффициента отражения от сверхпроводника. Поэтому структура из сверхпроводящей пленки на диэлектрической подложке может использоваться для создания перестраиваемых магнитным полем высокочувствительных устройств.

Ключевые слова: высокотемпературные сверхпроводники, вихри Абрикосова, тонкие пленки, магнитное поле, коэффициент отражения

METHODS OF EFFECT ON REFLECTION COEFFICIENT FROM THIN SUPERCONDUCTING FILM

Golovkina M.V.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics», Samara, e-mail: nauka77@yandex.ru

In this paper the electrodynamic properties of thin film high-temperature superconductors in a mixed state are discussed. The magnetic properties of a thin superconducting film are taken into account in the model of the dynamic magnetic susceptibility for the case of a linear response of an Abrikosov vortex lattice to a small external effect. The dependence of the permeability of the superconductor on the external magnetic field, temperature and characteristic parameters of the superconductor is taken into account. The thin superconducting film of yttrium ceramic located on a dielectric substrate is considered. The reflection coefficient from this film is calculated for the case when the external magnetic field is directed perpendicular to the film surface. The results of the calculations show that the reflection coefficient of this structure depends on both the magnitude of the applied external magnetic field and the temperature. A specific feature of the considered structure is the presence of a sharp maximum in the dependence of the reflection coefficient both on the frequency and on the magnitude of the external magnetic field. The results obtained in the work show that the thin film of a type II superconductor in a mixed state can have strong magnetic properties. These magnetic properties can substantially influence the value of the reflection coefficient from the superconductor. Therefore, the structure of a superconducting film on a dielectric substrate can be used to create highly sensitive devices that are tunable by a magnetic field.

Keywords: high-temperature superconductors, Abrikosov vortices, thin films, magnetic field, reflection coefficient

Высокотемпературные сверхпроводники все чаще рассматриваются в качестве перспективных материалов для создания обладающих малыми потерями устройств фотоники и микроэлектроники. Наличие у высокотемпературных сверхпроводников очень малого сопротивления при температурах ниже критической уменьшает диссипацию энергии и увеличивает быстродействие устройств на их основе. Большое распространение нашли тонкопленочные сверхпроводящие устройства [1]. Отличительной особенностью высокотемпературных сверхпроводников является наличие смешанного состояния, в котором магнитное поле может проникать в сверхпроводник [2]. При этом при протекании транспортного тока в сверхпроводнике возникает проблема термомагнитной неустойчивости сверхпроводящего состояния, обусловленная дополнительной диссипацией энергии из-за наличия омических потерь. Термомагнитная неустойчивость приводит к скачкам магнитных свойств сверхпроводника вблизи критической температуры, что может при-

водить к переходу из сверхпроводящего состояния в обычное при любых сколь угодно малых внешних воздействиях [3]. Если же использовать высокотемпературные сверхпроводники в виде тонких пленок на подложке, то такая конструкция способствует отводу дополнительного тепла и уменьшает термомагнитную неустойчивость [3, 4]. В настоящей работе рассматриваются электродинамические свойства тонкой пленки высокотемпературного сверхпроводника в резистивном состоянии, находящейся на диэлектрической подложке. В резистивном состоянии магнитное поле, величина которого не превышает второе критическое поле, проникает в толщу сверхпроводящей пленки в виде упорядоченной структуры несверхпроводящих нитей, которая получила название решетки вихрей Абрикосова. Цилиндрические вихри Абрикосова ориентируются вдоль внешнего магнитного поля и составляют упорядоченную структуру. При увеличении температуры при $T > 0$ из-за тепловых флуктуаций вихри будут отклоняться от положения равновесия и упорядоченная решетка вихрей начинает «плавиться». Такая же картина наблюдается при протекании транспортного тока по пленке из-за влияния силы Лоренца. В настоящее время существует несколько моделей, которые описывают поведение вихревой структуры в сверхпроводнике при температурах, приближающихся к критической. Среди них можно назвать XY-модель, модель взаимодействия двухмерных бозонов, модель замкнутых вихрей [2]. В данной работе для описания свойств вихревой жидкости используется модель динамической магнитной восприимчивости [5].

Материалы и методы исследования

Геометрия структуры изображена на рис. 1. Слой № 1 – высокотемпературный сверхпроводник толщиной d_1, слой № 2 – диэлектрик толщиной d_2. Структура находится в магнитном поле B, направленном перпендикулярно границе раздела слоев. Величина магнитного поля не превышает второго критического поля для сверхпроводника B_{c2}. Тонкая пленка высокотемпературного сверхпроводника находится в смешанном состоянии. В режиме смешанного состояния магнитное поле проникает в сверхпроводящую пленку в виде решетки вихрей Абрикосова, и высокотемпературный сверхпроводник приобретает слабые магнитные свойства [6]. Электромагнитная волна падает на рассматриваемую структуру под углом θ.

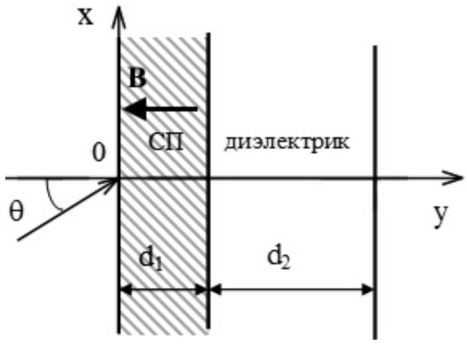


Рис. 1. Геометрия структуры

Для расчета магнитных свойств тонкой сверхпроводящей пленки рассмотрим модель динамической магнитной восприимчивости, которая учитывает возможность изменения параметров вихрей Абрикосова. Будем исследовать случай «вихревой жидкости», которая демонстрирует линейный отклик решетки вихрей Абрикосова на малое внешнее возмущение. В рамках рассматриваемой модели магнитная восприимчивость тонкой сверхпроводящей пленки рассчитывается по формуле [6]:

$$\chi = \frac{1}{4\pi\sqrt{iu}} th(\delta\sqrt{iu}) \frac{ch(\delta n\sqrt{iu})}{ch(n\sqrt{iu})} + \\ + \frac{1}{4\pi\sqrt{iu}} \frac{sh(n\sqrt{iu}) - sh(\delta n\sqrt{iu})}{ch(n\sqrt{iu})}, \qquad (1)$$

где $u = l\sqrt{\omega / D_1}$ – безразмерный параметр, $D = c^2/(4\pi\rho_v)$ – коэффициент диффузии, $2l$ – ширина образца, $\sqrt{\omega / D_1}$ – характерная длина диффузии, $\delta = d/l$ – доля объема образца, занятого так называемой внутренней областью, ρ_v – удельное линейное сопротивление, обусловленное движением вихрей, $n = \sqrt{D_1 / D_2}$ – коэффициент нелинейности вольт-амперной характеристики сверхпроводника, который связан с величиной коэффициентов диффузии D_1 и D_2.

Магнитная проницаемость образца рассчитывается по формуле

$$\mu = 1 + \chi. \qquad (2)$$

Мы рассматриваем высокотемпературный сверхпроводник в смешанном состоянии, которое возникает в том случае, если магнитном поле, которое приложено к сверхпроводящей пленке, находится в следующих пределах: $B_{c1} < B < B_{c2}$, где B_{c1} – первое критическое поле, B_{c2} – второе критическое поле для сверхпроводника. При этом внутри сверхпроводящей тонкой пленки из магнитных вихрей формируется

упорядоченная решетка вихрей Абрикосова. Причем магнитные свойства будут зависеть как от внешнего магнитного поля, температуры, так и от соотношения характерных времен тепловых и электромагнитных процессов в сверхпроводящей пленке, а также, опосредованно, и от характерных размеров сверхпроводника [2].

В данной работе исследуется, как зависят электродинамические параметры сверхпроводящей тонкой пленки от величины внешнего магнитного поля B. Рассмотрим случай однородной и изотропной пленки сверхпроводника в параллельном магнитном поле. Зависимость удельной проводимости для тонких пленок из высокотемпературной иттриевой керамики в слабых магнитных полях была исследована в работе [6]. Для однородного сверхпроводника второго рода удельная проводимость находится из решения уравнения Гинзбурга – Ландау. При этом зависимость удельной проводимости от величины внешнего магнитного поля описывается выражением [7]:

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_0} = \frac{1}{\sqrt{\xi_H}} - \frac{2}{\sqrt{\xi_H + h}} + \frac{1}{\sqrt{\xi_H + 2h}} + \frac{7h + 2\xi_H}{8(\xi_H + 2h)^{3/2}}, \quad (3)$$

$$\xi_H = (\Omega T h)^{2/3} F^{-2} \left[\frac{(1+\Lambda)T / T_c - 1 + h}{(\Omega T h)^{2/3}} \right],$$

$$\Lambda = \Omega T_c \frac{\ln 8d^2}{2d},$$

где $h = B/B_{c2}(0)$ – магнитное поле, отнесенное к величине $B_{c2}(0)$, $B_{c2}(0)$ – второе критическое поле для сверхпроводника при температуре T = 0 K, ξ_H – выполняет роль безразмерной температуры, σ_0 – константа с размерностью удельной проводимости, $d = s/2\xi_c(0)$, s – расстояние между CuO плоскостями, $\xi_c(0)$ – корреляционная длина в направлении, перпендикулярном плоскости CuO иттриевой керамики, $\xi_{ab}(0)$ – корреляционная длина в направлении плоскости CuO иттриевой керамики.

Величина Ω принимает следующие значения:

$$\Omega = \frac{8\pi^2 (2k^2 - 1)\xi_c(0) k_B}{\gamma^2 \Phi_0{}^2}, \quad (4)$$

где $\gamma = \xi_c(0)/\xi_{ab}(0)$ – параметр анизотропии, Φ_0 – квант магнитного потока, k – параметр Гинзбурга – Ландау, $F(x)$ – некоторая функция, удовлетворяющая кубическому уравнению $xF(x) = 1 - F^3$.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим влияние магнитного поля на электродинамические свойства тонкой пленки высокотемпературного проводника при высоких частотах. Расчет коэффициента отражения от структуры сверхпроводящая пленка – диэлектрическая подложка проводился с использованием матричного метода. Матрица преобразования для слоя диэлектрика известна (см. работу [8]), матрица преобразования для тонкой пленки сверхпроводника приведена в работе [9]. Результаты расчета зависимости модуля коэффициента отражения рассматриваемой структуры от магнитного поля представлены на рис. 2. Параметры, использованные для расчета: толщина сверхпроводящей пленки $d_1 = 25$ нм, толщина диэлектрической подложки $d_2 = 0{,}25$ мкм, диэлектрическая проницаемость подложки $\varepsilon_2 = 9{,}8$, угол падения на структуру $\theta = 0{,}1$, $\alpha = 20$, $\gamma = 2$, $\sigma_n(1) = 3{,}5\times10^6$ См/м, $\lambda(0) = 0{,}13$ мкм, $T_c = 89$ K, $d = 0{,}7$.

Из рис. 2 видно, что коэффициент отражения от тонкой сверхпроводящей пленки на диэлектрической подложке существенным образом зависит как от магнитного поля, так и от температуры. Причем при увеличении температуры максимум коэффициента отражения наблюдается при более низких магнитных полях. На рис. 3 показан результат расчета частотной зависимости модуля коэффициента отражения от рассматриваемой структуры для разных значений температуры, а на рис. 4 представлена частотная зависимость модуля коэффициента отражения для разных значений величины внешнего магнитного поля. Параметры структуры те же, что и на рис. 2.

Из рис. 3 и 4 видно, что при соответствующем выборе величины магнитного поля и температуры коэффициент отражения R демонстрирует резкий максимум, причем в максимуме величина R практически равна единице (кривая 2 на обоих рисунках). Равенство единице коэффициента отражения при определенной частоте говорит о том, что на данной частоте электромагнитная волна не может распространяться в исследуемой структуре. Как показано в работе [10], вблизи данной частоты существует область, в которой электромагнитная волна полностью проходит через тонкую пленку сверхпроводника. Нахождение этой области аналитическими методами является весьма сложным и требует численного подбора всех параметров сверхпроводника, включая величину внешнего магнитного поля, температуру, угол падения и толщину.

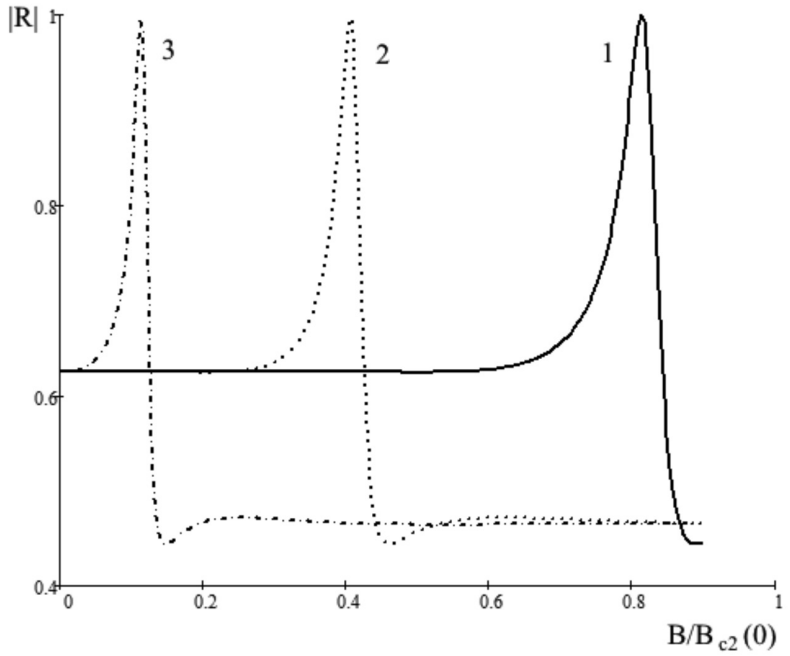


Рис. 2. График зависимости модуля коэффициента отражения от двухслойной структуры тонкая сверхпроводящая пленка – диэлектрик от величины магнитного поля $B/B_{c2}(0)$ для разных температур. Кривая 1: t = 0,56, кривая 2: t = 0,7, кривая 3: t = 0,8, частота $\omega = 10^{12}$ рад/с

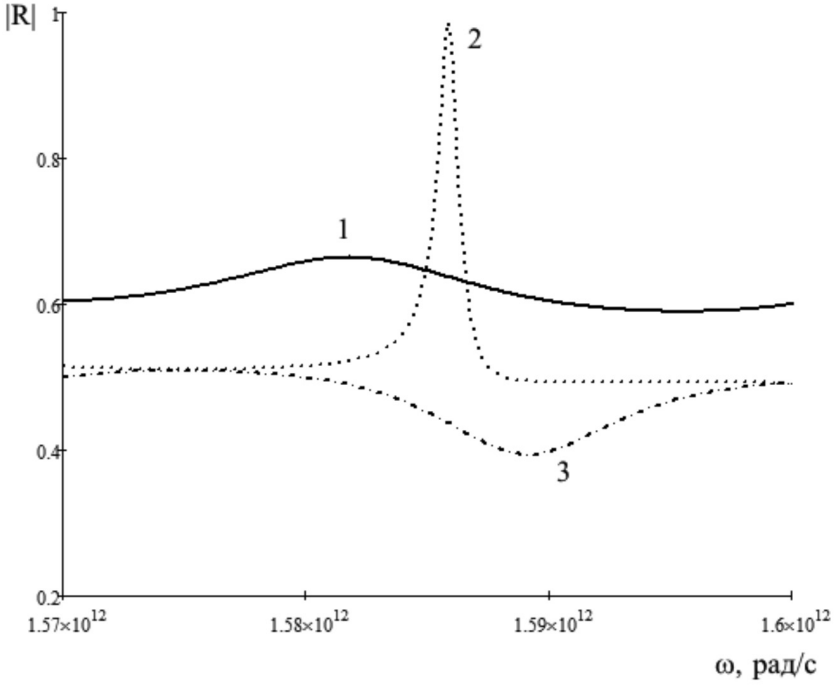


Рис. 3. График зависимости модуля коэффициента отражения от двухслойной структуры сверхпроводник – диэлектрик от частоты для разных значений температуры. Кривая 1: t = 0,5, кривая 2: t = 0,52, кривая 3: t = 0,55, h = 0,3

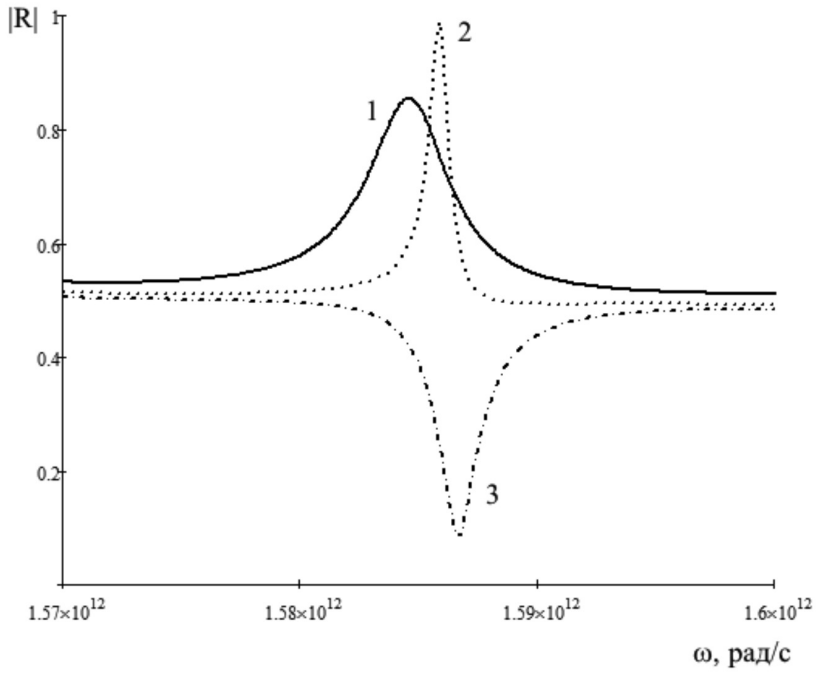


Рис. 4. График зависимости модуля коэффициента отражения от двухслойной структуры сверхпроводник – диэлектрик от величины частоты для разных значений магнитного поля $h = B/B_{c2}(0)$. Кривая1: h = 0,27, кривая 2: h = 0,3, кривая 3: h = 0,31; t = 0,52

Выводы

Таким образом, в работе показано, что тонкие пленки сверхпроводника второго рода, находящиеся во внешнем магнитном поле, могут демонстрировать достаточно сильные магнитные свойства, наблюдаемые для СВЧ-диапазона, а также при более высоких частотах. Использование ферромагнитной подложки повышает магнитный отклик тонких сверхпроводящих пленок. Наличие резкой зависимости коэффициента отражения от величины внешнего магнитного поля и температуры означает, что рассматриваемая двухслойная структура из тонкой сверхпроводящей пленки и слоя диэлектрика может служить высокоэффективным фильтром, полоса пропускания которого меняется под воздействием магнитного поля. Причем соответствующий подбор параметров, включающих температуру и толщину сверхпроводника, позволяет получить устройство с очень высокой чувствительностью.

Список литературы

1. Govorun I.V., Leksikov A.A. Compact microwave power limiter with HTSC element. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. 2018. vol. 11. no. 1. P. 35–39.

2. Embon L., Anahory Y., Jelic Z.L., Lachman E.O., Myasoedov Y., Huber M.E., Mikitik G.P., Silhanek A.V., Milosevic M.V., Gurevich A., Zeldov E. Imaging of super-fast dynamics and flow instabilities of superconducting vortices. Nature Communications. 2017. vol. 8. P. 85–1 – 85–12.

3. Jing Xia J., Li M., Zhou Y. Numerical investigations on the characteristics of thermomagnetic instability in MgB_2 bulks. Superconductor Science and Technology. 2017. vol. 30. no. 7. P. 1–28.

4. Петропавловский В.М., Топоркова Л.В. Способ стабилизации мощности излучения лазера // Инфокоммуникационные технологии. 2013. № 2. С. 65–68.

5. Trillaud F., Berger K., Douine B., Leveque J. Distribution of current density, temperature and mechanical deformation in YBCO bulks under Field-Cooling magnetization. IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 2018. vol. 28. no. 4. P. 6800805-1–6800805-8.

6. Zou S. Magnetization of high temperature superconducting trapped-field magnets. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2017. 130 p.

7. Shantsev D.V., Gaevski M.E., Suris R.A., Bobyl A.V., Gasumyants V.E., Shalaev O.L. Temperature and magnetic field dependence of conductivity of YBaCuO films in the vicinity of superconducting transition: Effect of Tinhomogeneity. Physical Review B. 1999. vol. 60. P. 12485–12494.

8. Golovkina M.V. Electromagnetic wave propagation in a multilayered periodic structure containing negative index material. IEEE International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2007; Proceedings IEEE International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2007. Tomsk, 2007. P. 174–178.

9. Головкина М.В. Особенности распространения электромагнитных волн в волноводной структуре со сверхпроводящей пленкой и метаматериалом // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2010. Т. 74. № 12. С. 1739–1743.

10. Bespalov A.A., Mel'nikov A.S., Buzdin A.I. Magnon radiation by moving Abrikosov vortices in ferromagnetic superconductors and superconductor-ferromagnet multilayers. Physical Review B. 2014. vol. 89. P. 054516-1–054516-12.

УДК 621.382

ТЕРМОЭМИССИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР, РАБОТАЮЩИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Исманов Ю.Х., Ниязов Н.Т., Джаманкызов Н.К., Жумалиев К.М.

Институт физики им. академика Ж.Ж. Жээнбаева НАН Кыргызской Республики, Бишкек, e-mail: i_yusupjan@mail.ru

Получено уравнение теплового баланса, которое позволяет исследовать нагрев анода до его рабочей температуры, при которой эффективно и стабильно осуществляется термоэлектронная эмиссия. Из этого уравнения видно, что процесс нагрева определяется количеством входной энергии, величина которого зависит от коэффициента усиления используемого концентрирующего устройства, от величины инсоляции энергии Солнца и от энергетических потерь в виде излучения. Излучательные потери энергии пропорциональны абсолютной температуре эмиттера в четвертой степени и также частично энергия уходит на поддержание процесса термоэмиссии. Как следствие, температура анода растет до момента наступления термодинамического равновесия, определяемого термодинамической температурой равновесия. В этом состоянии мощность поглощенного излучения уравновешивается мощностью потерь на излучение и на термоэмиссию. Также показано, что температура равновесия зависит от величины коэффициента усиления концентрирующего устройства. Каждое значение коэффициента усиления концентрирующего устройства определяется своим значением температуры равновесия. Поэтому при выборе значения коэффициента усиления в зависимости от материала эмиттера необходимо, чтобы при фиксированном значении инсоляции обеспечивалась стабильная рабочая температура, попадающая в диапазон 600–2700 К. В статье также представлены графики зависимостей рабочих характеристик эмиттера от интенсивности солнечного излучения и коэффициентов усиления концентрирующего устройства.

Ключевые слова: термоэмиссия, концентратор, инсоляция, солнечное излучение, коэффициент усиления, тепловое равновесие

THERMOEMISSION GENERATOR OPERATING UNDER CONCENTRATED SOLAR RADIATION

Ismanov Yu.Kh., Niyazov N.T., Dzhamankyzov N.K., Zhumaliev K.M.

Institute of Physics named after academician Zh.Zh. Zheenbaev of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: i_yusupjan@mail.ru

The heat balance equation is obtained, which allows one to study the heating of the anode to its operating temperature, at which thermionic emission is efficiently and stably carried out. It can be seen from this equation that the heating process is determined by the amount of input energy, the value of which depends on the gain of the used concentrating device, on the insolation of the energy of the Sun and on energy losses in the form of radiation. Radiative energy losses are proportional to the absolute temperature of the emitter to the fourth degree and, in part, the energy is spent on maintaining the process of thermal emission. As a result, the temperature of the anode rises until the onset of thermodynamic equilibrium, determined by the thermodynamic temperature of equilibrium. In this state, the power of absorbed radiation is balanced by the power of radiation losses and thermal emission. It is also shown that the equilibrium temperature depends on the gain of the concentrating device. Each value of the gain of the concentrating device is determined by its value of the equilibrium temperature. Therefore, when choosing a gain value depending on the material of the emitter, it is necessary that, with a fixed insolation value, a stable operating temperature fall within the range of 600–2700 K. The article also presents graphs of the dependences of the emitter performance on the intensity of solar radiation and the gain of the concentrating device.

Keywords: thermionic emission, concentrator, insolation, solar radiation, gain, thermal equilibrium

Электронная эмиссия начинается, если энергия электронов превышает работу выхода для данного материала, для чего электронам необходимо получить добавочную энергию. Одним из методов увеличения кинетической энергии электронов является нагрев тел, что позволяет им преодолевать потенциальный порог, т.е. совершить работу выхода и оторваться от поверхности тела. Вылетающие с поверхности тела электроны формируют термоэлектронный ток [1–3]. Упрощенную схему источника термоэмиссионного тока можно рассматривать как систему из двух электродов, находящихся в вакууме, один из которых, называемый эмиттером, или катодом, при нагреве испускает электроны, второй электрод, называемый коллектором, или анодом, притягивает электроны к себе. Данный электрод обычно имеет более низкую температуру, по сравнению с температурой катода. На практике в качестве эмиттера используются металлический вольфрам, торированный или барированный вольфрам, оксиды и др. Рабочая температура этих материалов для обеспечения максимального тока эмиссии находится в диапазоне от 1000 К до 2700 К. Например [2, 3], для нагрева вольфрамово-

го эмиттера (катода) до температуры 2300–2700 К, при которых он дает плотность тока эмиссии 0,1–0,8 $\frac{А}{см^2}$, требуется источник энергии с удельной мощностью 50–60 $\frac{Вт}{см^2}$. Самой низкой рабочей температурой среди упомянутых выше эмиттеров обладают оксидные эмиттеры. Для данного эмиттера рабочая температура расположена в диапазоне 1000–1200 К, и для его нагревания необходима удельная мощность 2–3 $\frac{Вт}{см^2}$, что обеспечивает плотность тока эмиссии 10–70 $\frac{А}{см^2}$.

Следует отметить, что в зависимости от способа нагрева эмиттера термоэмиссионный метод преобразования тепловой энергии находит разные применения. Например, эмиссия электронов за счет нагрева катода находит широкое применение как во многих отраслях техники, так и в научных исследованиях [2]. Устройства, основанные на термоэмиссионной технологии, в которых для нагрева эмиттера задействована ядерная энергия, широко используются в космосе. Подобные устройства покрывают практически весь энергетический диапазон, используемый в космических исследованиях, что позволяет решить комплекс космических и наземных задач с жесткими требованиями по ядерной и радиационной безопасностям [4, 5].

Поскольку в настоящее время энергия Солнца считается перспективной для создания экологически чистых источников электрической и тепловой энергии [6], то конвертирование энергии Солнца в электрическую методом термоэлектронной эмиссии становится актуальной задачей [7]. Этот метод можно рассматривать как альтернативу другим методам, таким как термо- и фотовольтаика. Преимущество этого метода заключается в том, что, во-первых, при нагреве эмиттера термоэмиссионного устройства работает весь спектр солнечного излучения, во-вторых, устройства на его основе малогабаритны. Особенно привлекательным данный метод становится в связи с созданием микро- и наноструктурированной эмиссионных поверхностей [8–10]. Основным моментом, выступающим в пользу использования углеродных нанотрубок в качестве эмиттеров при нагреве с помощью достаточно концентрированной солнечной энергии, является тот экспериментальный факт, что ток 0,1 А достигается в этом случае при температуре эмиттера менее 300 °С [11]. Таким образом, появление низкотемпературных термоэмиссионных материалов позволяет увеличить шанс применения метода термоэлектронной эмиссии в солнечной энергетике. Из вышесказанного следует, что рабочие температуры эмиттеров различаются и лежат в диапазоне температур от 600 К до 2700 К. Отсюда следует, что при использовании солнечной энергии для нагрева эмиттеров необходимо знать плотности светового потока, которые следует использовать для получения требуемого значения температуры эмиссии. Решению этой задачи посвящена настоящая работа.

Нагрев эмиттера

При нагревании эмиттера электроны приобретают энергию, достаточную для преодоления барьера, соответствующего работе выхода эмиттера $\varphi_э$, и дальнейшего перемещения к коллектору. Там электроны соприкасаются с более холодным материалом, и их энергия падает до значения уровня Ферми коллектора, а избыточная энергия, соответствующая работе выхода коллектора $\varphi_к$, рассеивается посредством излучения. Если $\varphi_к$ меньше $\varphi_э$, то разности энергий электронов на коллекторе и эмиттере оказывается достаточно, чтобы в нагрузке возник ток и генератор мог совершать полезную работу. Для нормальной работы такой системы помимо условия $\varphi_к < \varphi_э$ еще требуется, чтобы температура коллектора была намного ниже, чем температура эмиттера. Это условие приводит к тому, что количество эмитируемых из коллектора электронов, движущихся в сторону эмиттера, будет намного ниже, чем от эмиттера к коллектору, и разность потенциалов $\varphi_э - \varphi_к$, необходимая для совершения полезной работы, будет больше.

Очевидно, что при использовании энергии Солнца для нагрева эмиттера до температуры, необходимой для эффективного протекания термоэлектронной эмиссии, требуется применять концентраторы. Концентратор энергии Солнца [12, 13] повышает интенсивность излучения Солнца до значений, которые позволяют эффективно и экономически целесообразно преобразовывать его в заданный вид энергии. Важнейшей интегральной характеристикой концентратора является среднее значение коэффициента концентрации K_c [12], которое задается в виде отношения усредненного значения интенсивности сконцентрированной энергии Солнца, падающего на поверхность приемника I_c к интенсивности энергии Солнца у поверхности Земли P_0 в плоскости, нормальной направлению ее распространения, т.е. $K_c = \frac{I_c}{P_0}$ [12–14]. Интенсивность (мощность) излучения

Солнца у поверхности Земли P_0 называют инсоляцией (insolation) или солнечной постоянной [15].

Рассмотрим простейший термоэмиссионный генератор, состоящий из двух (эмиттер и коллектор) пластинчатых поверхностей, находящихся в вакууме. Предположим, что перпендикулярно поверхности эмиттера падает и затем поглощается, в соответствии с поглощательной способностью его материала α, концентрированный поток энергии Солнца с коэффициентом усиления K_c. Поскольку в вакууме отсутствует теплообмен с окружающей средой, а потери энергии посредством теплопроводности через держатели электродов ничтожно малы, то за время dt количество тепла, соответствующее концентрированному солнечному излучению, поглощенному поверхностью эмиттера S, определяется выражением

$$dq = \alpha S K_c P_0 dt. \quad (1)$$

Это количество тепла расходуется на следующие три процесса:

– Поглощение тепла dq_T материалом эмиттера:

$$dq_T = cmdT, \quad (2)$$

где m – масса эмиттера, c – теплоемкость эмиттера.

– Если плотность тока обозначить через $j_э$, то энергия, необходимая для вылета электронов с поверхности эмиттера, равна $\varphi_э j_э$. Однако большинство электронов при вылете с поверхности металла имеют избыточное значение энергии, которое учитывается в виде средней добавки $2kT$. Эта часть затрат тепловой энергии определяется соотношением

$$dq_e = Sj_k(\varphi_э + 2kT)\,dt. \quad (3)$$

– Теплообмен излучением

$$dq_u = S\varepsilon\sigma T^4 dt, \quad (4)$$

где σ – постоянная Стефана – Больцман, ε – относительная испускательная способность поверхности.

Следовательно, уравнение, описывающее тепловое равновесие, имеет вид

$$dq = dq_T + dq_e + dq_u.$$

Подставляя значения dq, dq_T, dq_e, dq_u, получим следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho ch}[\alpha K_c P_0 - \varepsilon\sigma T^4 - j_э(\varphi_э + 2kT)]. \quad (5)$$

Здесь использовано соотношение $\rho = \dfrac{m}{Sh}$ для плотности материала эмиттера, h – его толщина.

Полученное дифференциальное уравнение (5) позволяет исследовать нагрев анода до его рабочей температуры, при которой эффективно и стабильно осуществляется термоэлектронная эмиссия. Как видно из (5), процесс нагрева определяется количеством входной энергии, величина которого зависит от коэффициента усиления используемого концентрирующего устройства, от величины инсоляции энергии Солнца и от энергетических потерь в виде излучения. Излучательные потери энергии пропорциональны T^4 и также частично энергия уходит на поддержание процесса термоэмиссии. Как следствие, температура анода растет до момента наступления термодинамического равновесия, определяемого температурой равновесия T_p. В этом состоянии мощность поглощенного излучения уравновешивается мощностью потерь на излучение и на термоэмиссию. Как следствие, в уравнении (5) производная $\dfrac{dT}{dt} = 0$, и, следовательно, $T = T_p = \text{const}$. В этом случае уравнение теплового равновесия (5), с учетом уравнения Ричардсона – Дешмана для плотности тока термоэмиссии [1]

$$j_э = AT_p^2 \exp\left(-\frac{\varphi_э - \varphi_к}{kT_p}\right), \quad (6)$$

принимает вид

$$\alpha K_c P_0 = A(\varphi_э + 2kT_p)T_p^2 \exp\left(-\frac{\varphi_э - \varphi_к}{kT_p}\right) + \varepsilon\sigma T_p^4. \quad (7)$$

Здесь A – некоторая универсальная постоянная приблизительно равная

$$A = 1{,}2 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2\,\text{К}^2}.$$

Уравнение (7) устанавливает связь между входной $\alpha K_c P_0$ и выходной мощностями термоэмиссионного генератора и температурой равновесия. Как видно из этого выражения, температура равновесия зависит от величины коэффициента усиления концентрирующего устройства. Каждое значение K_c определяется своим значением температуры равновесия T_p. Поэтому при выборе значения K_c в зависимости от материала эмиттера необходимо, чтобы при фиксированном значении инсоляции обеспечивалась стабильная рабочая температура, попадающая в указанный ранее диапазон 600–2700 К.

Ход изменения температуры эмиттера до момента наступления равновесного состояния можно определить, проинтегрировав уравнение (5):

$$t_p = \rho c h \int_0^{T_p} \frac{dT}{\alpha K_c P_0 - \varepsilon\sigma T^4 - A(\varphi_э + 2kT)T^2 \exp\left(-\frac{\varphi_э - \varphi_к}{kT_p}\right)}, \quad (8)$$

где t_p – время, в течение которого устанавливается равновесное значение температуры на поверхности эмиттера при воздействии концентрированной солнечной энергии.

Используя соотношение для теплового равновесия (7), построим график зависимости T_p от широты земной поверхности, или, точнее, от значения инсоляции солнечного излучения P_0, для различных значений K_c (рис. 1).

Поскольку выходная мощность термоэмиссионного генератора определяется выражением

$$P = j_э(\varphi_э - \varphi_к), \quad (9)$$

то, согласно (7) и используя (6) и (9), получаем соотношение, связывающее выходную мощность эмиттера и значение инсоляции солнечного излучения P_0

$$P = \alpha K_c P_0 - (\varphi_k + 2kT_p) j_э - \varepsilon\sigma T_p^4. \quad (10)$$

Из соотношения (10) видно, что кпд эмиттера определяется отношением

$$\eta = \frac{P}{\alpha K_c P_0} = \frac{\alpha K_c P_0 - (\varphi_k + 2kT_p) j_э - \varepsilon\sigma T_p^4}{\alpha K_c P_0} = 1 - \frac{(\varphi_k + 2kT_p) j_э + \varepsilon\sigma T_p^4}{\alpha K_c P_0}. \quad (11)$$

На рис. 2–4 представлены графики зависимости выходной мощности эмиттера от значений инсоляции солнечного излучения для различных коэффициентов усиления концентратора и различных значений равновесной температуры эмиттера.

Выводы

Получено уравнение теплового баланса, которое позволяет исследовать нагрев анода до его рабочей температуры, при которой эффективно и стабильно осуществляется термоэлектронная эмиссия. Из этого уравнения видно, что процесс нагрева определяется количеством входной энергии, величина которого зависит от коэффициента усиления используемого концентрирующего устройства, от величины инсоляции энергии Солнца и от энергетических потерь в виде излучения. Излучательные потери энергии пропорциональны T^4 и, также, частично энергия уходит на поддержание процесса термоэмиссии. Как следствие, температура анода растет до момента наступления термодинамического равновесия, определяемого температурой равновесия T_p. В этом состоянии мощность поглощенного излучения уравновешивается мощностью потерь на излучение и на термоэмиссию.

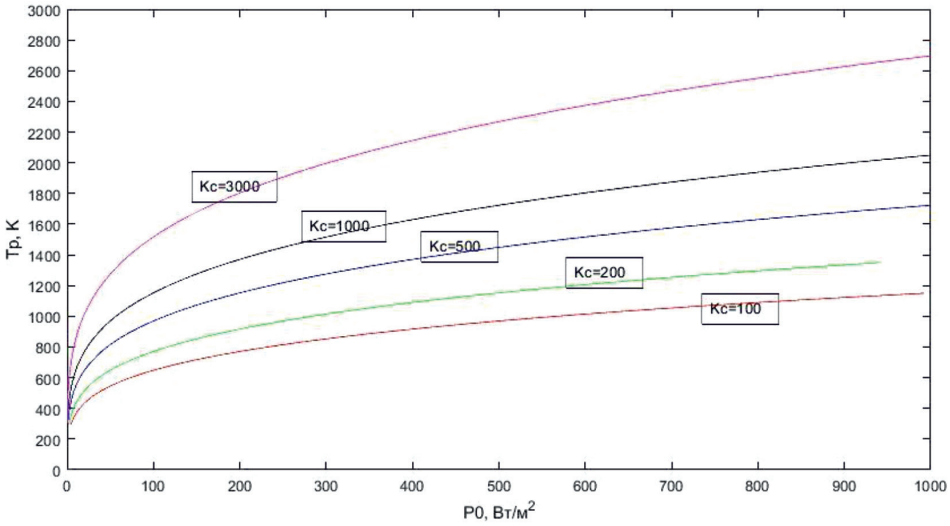


Рис. 1. Зависимости равновесной температуры эмиттера от значений инсоляции солнечной энергии для различных значений усиления концентрирующего устройства

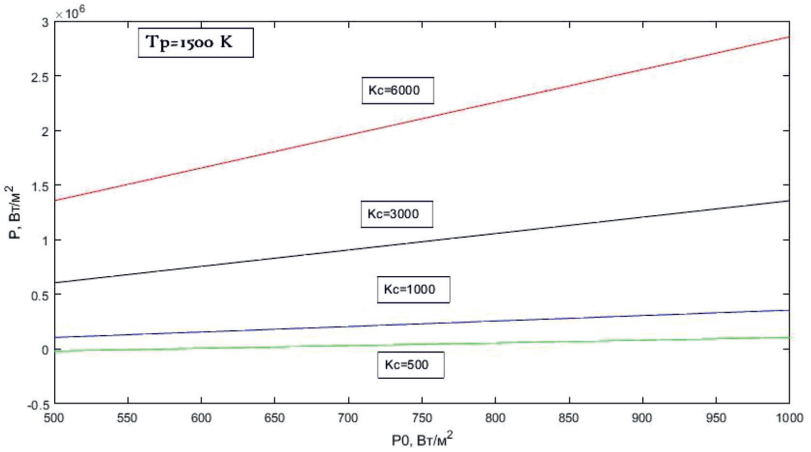


Рис. 2. Зависимости выходной мощности эмиттера от значений инсоляции солнечной энергии для различных значений усиления концентрирующего устройства и равновесной температуры эмиттера 1500 К

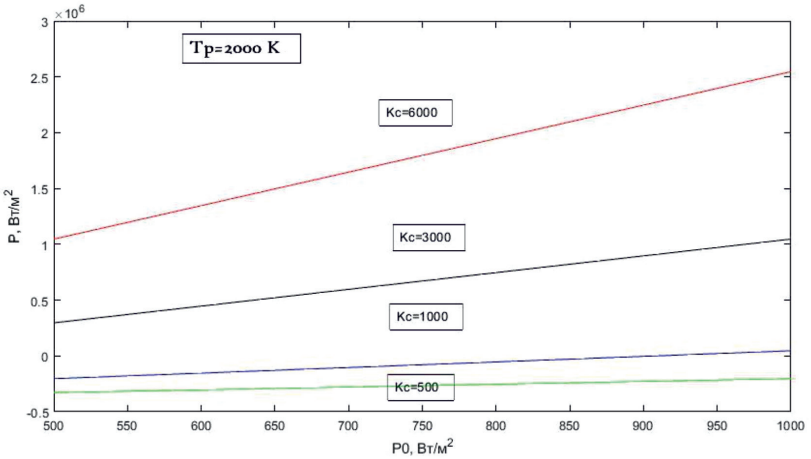


Рис. 3. Зависимости выходной мощности эмиттера от значений инсоляции солнечной энергии для различных значений усиления концентрирующего устройства и равновесной температуры эмиттера 2000 К

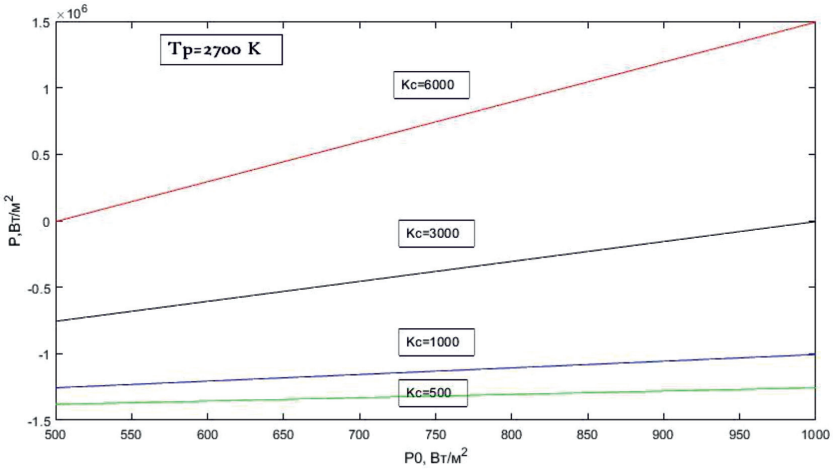


Рис. 4. Зависимости выходной мощности эмиттера от значений инсоляции солнечной энергии для различных значений усиления концентрирующего устройства и равновесной температуры эмиттера 2700 К

Также показано, что температура равновесия зависит от величины коэффициента усиления концентрирующего устройства. Каждое значение K_c определяется своим значением температуры равновесия T_p. Поэтому при выборе значения K_c в зависимости от материала эмиттера необходимо, чтобы при фиксированном значении инсоляции обеспечивалась стабильная рабочая температура, попадающая в диапазон 600–2700 К.

Список литературы

1. Olawole O.C., De D.K. Theoretical studies of thermionic conversion of solar energy with graphene as emitter and collector. J. of Photonics for Energy. 2018. No. 8 (1). P. 018001–018009. DOI: 10.1117/1.JPE.8.018001.

2. Kafafi Z.H., Martín-Palma R.J., Nogueira A.F., O'Carroll D.M., P.J., Samuel I.D.W., So F., Tansu N., Tsakalakos L. The role of photonics in energy. J. of Photonics for Energy. 2015. No. 5(1). P. 050997–051005. DOI: 10.1117/1.JPE.5.050997.

3. Deb S.K., Wallace W.L. Status of Nonsilicon Photovoltaic Solar Cell Research. Proceedings of Role of Electro-Optics in Photovoltaic Energy Conversion. 1980. V. 0248. P. 0731–0738. DOI: 10.1117/12.970584.

4. Olawole O.C., De D.K. Graphene for thermoelectronic solar energy conversion. Proceedings of Next Generation Technologies for Solar Energy Conversion VIII. 2017. V. 10368. P. 103680I. DOI: 10.1117/12.2276162.

5. Kribus A., Segev G. Solar energy conversion with photon-enhanced thermionic emission. Journal of Optics. 2015. V. 18. No. 7. P. 073001–073008.

6. Smerdov R.S., Mustafaev A.S., Spivak Yu.M., Moshnikov V.A. Porous silicon and graphene-based nanostructures for novel solar energy systems. Journal of Physics: Conference Series. 2018. V. 1135. Conference 1. P. 012038-012046.

7. Zheng Wei, Ogino Akihisa, Kando Masashi Effects of Illumination on Thermionic Energy Converter Characteristics. Japanese Journal of Applied Physics. 2017. V. 39. Part 1. No. 5A. P. 2816–2824.

8. Humphrey T.E., O'Dwyer M.F., Linke H. Power optimization in thermionic devices. Journal of Physics D: Applied Physics. 2005. V. 38. No. 12. P. 2051–2054.

9. Dimmock J.A.R., Kauer M., Wu J., Liu H., Stavrinou P.N., Ekins-Daukes N.J. A metallic hot-carrier photovoltaic device. Semicond. Sci. Technol. 2019. No. 34. P. 064001–064008. DOI: 10.1088/1361-6641/ab1222.

10. Zhang Xin, Peng Wanli, Su Guozhen, Su Shanhe and Chen Jincan Thermionic energy conversion based on 3D Dirac semimetals. J. Phys. D: Appl. Phys. 2018. No. 51. P. 405501. DOI: 10.1088/1361-6463/aad975.

11. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесщелевой радужной голографии // Вестник КГУСТА. 2015. № 4 (40). С. 194–198.

12. Исманов Ю.Х., Алымкулов С.А. Саморепродуцирование регулярных объектов с ограниченной апертурой // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2015. № 7. С. 3–5.

13. Ismanov Y.K., Dzhamankyzov N.K. Holographic Interferometer for the Study of Phase Media, Which Has Four Output Channels of Different Sensitivity. International Journal of Optics. 2019. vol. 2019. P. 2936172. DOI: 10.1155/2019/2936172.

14. 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.

15. Исманов Ю.Х. Голографическая интерферометрия на основе эффекта Тальбота // Известия НАН КР. 2015. № 2. С. 20–23.

СТАТЬИ

УДК 544.344.015.3:546.56:546.57:546.811

ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ СИСТЕМ Ag_2S-Cu_2SnS_3 (Cu_4SnS_4)

[1]Гурбанов Г.Р., [2]Рзагулуев В.А., [2]Керимли О.Ш., [2]Мамедов Ш.Г., [2]Алиев О.М., [2]Рагимова В.М.

[1]Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку;
[2]Институт катализа и неорганический химии им. М. Нагиева НАН Азербайджана, Баку, e-mail: azxim@mail.ru

Методами рентгенофазового, дифференциально-термического, микроструктурного анализов и измерением микротвердости изучены фазовые равновесия в системах Ag_2S-Cu_2SnS_3 и Ag_2S-Cu_4SnS_4, построены их диаграммы состояния. Установлено, что система Ag_2S-Cu_2SnS_3 является квазибинарным сечением и относится к эвтектическому типу. Координаты эвтектической точки уточнены построением треугольника Таммана 40 мол% Cu_2SnS_3 и T = 905 К. По данным микроструктурного и рентгенофазового анализов при комнатной температуре на основе сульфида серебра Ag_2S образуются твердые растворы до 1,0 мол%, а на основе тройного соединения Cu_2SnS_3 10 мол% тверды. Область растворимости при эвтектической температуре составляет до 5 и 20 мол% соответственно. Твердые растворы на основе тройного сульфида Cu_2SnS_3 кристаллизуются в кубической сингонии типа сфалерита. С увеличением, содержания Ag_2S параметр кубической решетки увеличивается от a = 5,445 Å (для чистого Cu_2SnS_3) до a = 5,564 Å (для сплава содержащего 10 мол% Ag_2S). Эти твердые растворы относятся к типу замещения. С увеличением содержания Ag_2S В твердых растворах увеличивается плотность и микротвердость сплавов. Разрез Ag_2S-Cu_2SnS_3 является частично квазибинарным сечением квазитройной системы Ag_2S-SnS_2-Cu_2S. На основе исходных компонентов образуются ограниченные области твердых растворов.

Ключевые слова: взаимодействие, система, твердый раствор, рентгенфазовый анализ, эвтектика, сечение

PHASE DIAGRAMS OF Ag_2S-Cu_2SnS_3 (Cu_4SnS_4) SYSTEM

[1]Gurbanov G.R., [2]Rzaguluev V.A., [2]Kerimli O.Sh., [2]Mamedov Sh.H., [2]Aliev O.M., [2]Ragimova V.M.

[1]Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku;
[2]Academician M. Nagiev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry of NAS of Azerbaijan, Baku, e-mail: azxim@mail.ru

The interaction of silver sulfide with ternary copper sulfides Cu_2SnS_3 and Cu_4SnS_4 was studied by X-ray phase, differential thermal, microstructural analyzes and microhardness measurements, and their phase diagrams were constructed. It is established that the Ag_2S – Cu_2SnS_3 system is a quasi-binary cross section and is also of the eutectic type. The coordinates of the eutectic point: 40 mol% Cu_2SnS_3 and T = 905 K. The composition of the eutectic point is refined by constructing the Tamman triangle. According to microstructure and X-ray phase analysis at room temperature, solid solutions based on silver sulfide Ag_2S formed 1.0 mol%, and based on the ternary compound Cu_2SnS_3 10 mol%. The solubility range at eutectic temperature is up to 5 and 20 mol%. Solid solutions based on ternary sulfide Cu2SnS3 crystallize in cubic sphalerite-type syngonies. With an increase in the Ag_2S content, the cubic lattice parameter increases from a = 5.445 Å (for pure Cu_2SnS_3) to a = 5.564 Å (for an alloy containing 10 mol% Ag_2S). These solid solutions belong to the type of substitution. With an increase in the content of Ag_2S in solid solutions, the density and microhardness of alloys also increase. The Ag_2S-Cu_2SnS_3 section is a partially quasi-binary section of the Ag_2S-SnS_2-Cu_2S quasi-ternary system. Based on the initial components, limited regions of solid solutions are formed.

Keywords: interaction, system, solid solution, X-ray analysis, eutectic, section

Поиск и исследование новых сложных функциональных материалов на основе халькогенидов серебра и меди являются актуальными, так как Ag_2S, Ag_2SnS_3 Cu_2SnS_3 и другие подобные халькогениды с участием германия и олова используются в оптоэлектронике [1–3] и являются перспективными функциональными материалами [4–6].

Сульфид серебра Ag_2S, образующийся в системе Ag –S [7], плавится при 1230 К конгруэнтно Ag_2S имеет две полиморфные формы: ∞ – Ag_2S и β – Ag_2S [8, 9]. Фазовый переход ∞ – Ag_2S ⇄ β – Ag_2S протекает при ~450 К. ∞ – Ag_2S (аксентит) кристаллизуется в моноклинной сингонии и является полупроводником с шириной запрещенной зоны ΔE = 0,9 – 1,05эВ [10] и β – Ag_2S (аргентит) существует в интервале температур 452–859 К. и является супер ионным полупроводником [9, 10]. Высокотемпературная модификация Ag_2S кристаллизуется в кубической структуре [10].

Система Cu_2S-SnS_2 впервые изучена в работе [11], и установлено, что Cu_2SnS_3 плавится конгруэнтно при 1118 К, что согласуется с данными [12]. По данным [12] соединение Cu_2SnS_3 имеет моноклинную структуру с параметрами решетки

a = 6,653, b = 11,537, c = 6,665Å, пр. группа Cc, z = 4, β = 109.39°, а по данным [13] Cu_2SnS_3 имеет моноклиннную структуру с искаженной кубической решеткой структурного типа цинковой обманки (a = 5,445 Å). По данным [14–16] содинение Cu_2SnS_3 триморфно, кроме вышеуказанной кубической модификации получены его тетрагональная (a = 5,426, c = 10,88Å) и триклинная модификация (a = 6,64, b = 11,51, c = 19,93Å, α = 90°, β = 109,45°, γ = 90°).

При изучении системы Cu_2S-SnS_2 [16–17] установлено образование трех фаз: Cu_2SnS_3, Cu_4SnS_4 и $Cu_2Sn_4S_9$. Из них только Cu_2SnS_3 плавится с открытым максимумом при 1123 К, а Cu_4SnS_4 и $Cu_2Sn_4S_9$ образуются по перитектическим реакции при 1083 К и 1098 К соответственно.

Было установлено, что Cu_2SnS_3 относится к тетрагональной сингонии с параметрами элементарной ячейки a = 5,423, c = 10,901 Å, прост. группа I-42m, является полупроводником p-типа проводимости и обладает высокими коэффициентами поглощения света (порядка 105 см$^{-1}$) [18]. Ширина запрещенной зоны ее меняется в пределах от ΔE = 1,0 до ΔE = 1,5 эВ эффективностью преобразования энергии более 10% [18–20]. По данным [19] различные модификации соединения Cu_2SnS_3 полученные сульфидизацией соответствующих окислов при 653,673 и 773 К, относятся к тетрагональной (I–42m) или кубической (Fm3m) сингонии, с шириной запрещенной зоны ΔE = 1,05 и 1,19 эВ, соответственно.

Ранее нами [21, 22] была изучена квазитройная система Ag_2S-Cu_2S-SnS_2 по разрезам Ag_8SnSe_6-Cu_2SnS_3 и Ag_2SnS_3-Cu_2SnS_3, установлено образование ограниченных областей твердых растворов на основе исходных сульфидов.

Было установлено, что Cu_2SnS_3 относится к тетрагональной сингонии с параметрами элементарной ячейки a = 5,423, c = 10,901 Å, прост. группа I-42m, является полупроводником p-типа проводимости и обладает высокими коэффициентами поглощения света (порядка 105 см$^{-1}$) [18]. Ширина запрещенной зоны ее меняется в пределах от ΔE = 1,0 до ΔE = 1,5 эВ эффективностью преобразования энергии более 10% [18–20]. По данным [19] различные модификации соединения Cu_2SnS_3 полученные сульфидизацией соответствующих окислов при 653,673 и 773 К, относятся к тетрагональной (I-42m) или кубической (Fm3m) сингонии, с шириной запрещенной зоны ΔE = 1,05 и 1,19 эВ, соответственно.

Ранее нами [21, 22] была изучена квазитройная система Ag_2S-Cu_2S-SnS_2 по разрезам Ag_8SnSe_6-Cu_2SnS_3 и Ag_2SnS_3-Cu_2SnS_3, установлено образование ограниченных областей твердых растворов на основе исходных сульфидов.

Анализ литературных данных показал, что разрезы Ag_2S-Cu_2SnS_3 и Ag_2S-Cu_4SnS_4, и вся квазитройная система не изучена.

Цель исследования: изучение фазовых диаграмм систем Ag_2S-Cu_2SnS_3 (Cu_4SnS_4).

Материалы и методы исследования

Сплавы системы Ag_2S-Cu_2SnS_3 и Ag_2S-Cu_4SnS_4 синтезированы сплавлением лигатур Cu_2SnS_3, Ag_2S и Cu_4SnS_4 полученные в свою очередь из элементов высокой чистоты: Cu-99,994 вес.%, Sn-99,999 вес.%, Ag-99,992 вес.% и S-99,9999 вес.%. Синтез проводили в вакуумированных кварцевых ампулах при максимальной температуре 1200–1400 К в течение 8 ч. По двум системам всего было синтезировано 23 сплава различного состава (табл. 1 и 2). После окончания синтеза при максимальной температуре выдерживали сплавы 40–45 мин, в электрической печи, а затем охлаждали со скоростью 10^0/мин до 800–850 К и при этом режиме проводили гомогенизирующий отжиг в течение 340 ч. В результате были получены плотные образцы темно-серого цвета с металлическим блеском, однородные по внешнему виду.

Расчет рентгенограммы Cu_2SnS_3 показал, что нами получена кубическая модификация с параметром решетки a = 25,445 Å

Полученные отожженные и закаленные при 600 К сплавы исследовали методами физико-химического анализа: термический анализ проводили на термограмме НТР-73 (хромель-алюмелевая термопара; скорость нагрева –10^0/мин, в качестве эталона использовали прокаленный Al_2O_3); РФА выполняли на рентгендифрактометре D2 PILSENER фирмы Брюкер (Cu K_α – излучатель, Ni – фильтр, точность определения параметра решетки составляет ±0,001Å); металлографические анализы проводили на МИМ-7 микроскопе и РМТ-3 микротвердомере.

Результаты исследования и их обсуждение

Диаграмма состояния системы Ag_2S-Cu_2SnS_3,построенная по данным физико-химических анализов приведена на рис. 1. Как видно, система Ag_2S-Cu_2SnS_3 является квазибинарным сечением квазитройной системы Ag_2S-SnS_2-Cu_2S и относится к эвтектическому типу. Ликвидус системы Ag_2S-Cu_2SnS_3 состоит из ветвей первичных кристаллизаций α- и β-твердых растворов, пересекающихся при 40 мол% Cu_2SnS_3 и T = 905 К.

Таблица 1

Результаты ДТА, РФА и МСА сплавов системы Ag_2S-Cu_2SnS_3

Состав, мол%		Термические эффекты нагревания, К	Плотность, г/см^3	Микротвердость, МПа	Фазовый состав
Ag_2S	Cu_2SnS_3				
100	0,0	1235	7,32	3650 –	однофазный
99	1,0	1185, 1270	7,30	3710 –	a
95	5,0	1070, 1215	7,25	3710 –	$\alpha+\beta$
90	10	945, 1180	7,10	3700 –	$\alpha+\beta$
80	20	905, 1115	7,00	3710 –	$\alpha+\beta$
70	30	905, 1020	6,92	3710 –	$\alpha+\beta$
60	40	905	6,87	эвтектика	$\alpha+\beta$
50	50	905, 1005	6,75	не измеряется	$\alpha+\beta$
40	60	905, 1065	6,40	3250	$\alpha+\beta$
30	70	905, 1095	6,00	3250	$\alpha+\beta$
20	80	905, 1105	5,82	3250	$\alpha+\beta$
10	90	985, 1120	5,66	3250	b
5	95	1060, 1120	5,44	2950	b
0	100	1123	5,02	2800	однофазный (β)

Таблица 2

Результаты ДТА, РФА и МСА и измерения микротвердости сплавов системы Ag_2S-Cu_4SnS_4

Состав, мол%		Термические эффекты нагревания, К	Плотность, г/см^3	Микротвердость, МПа	Фазовый состав
Ag_2S	Cu_4SnS_4				
100	0,0	1235	7,32	3650 –	однофазный
95	5,0	965, 1185	7,25	3680 –	$\alpha+\beta$
90	10	835, 1130	7,08	3680 –	$\alpha+\beta$
80	20	835, 1025	6,90	3640 –	$\alpha+\beta$
70	30	835, 945	6,82	3680 –	$\alpha+\beta$
60	40	835, 885	6,74	3680 –	$\alpha+\beta$
50	50	835	6,65	–	$\alpha+\beta$
40	60	835, 940	6,32	эвтектика	$\alpha+\beta$
30	70	835, 1030	6,18	– 2700	$\alpha+\beta$
20	80	835, 1010, 1053, 1130	5,92	– 2700	$\alpha+\beta$
10	90	835, 1040, 1090, 1360	5,68	– 2700	$\alpha+\beta$
5,1	95	1055, 1095, 1280	5,44	– 2700	$\alpha+\beta$
40	100	1098, 1403	5,18	– 2640	однофазный (β)

Состав эвтектической точки уточнен построением треугольника Таммана.

Дифрактограммы сплавов снимали при комнатной температуре на образцах, гомогенизированных и закаленных при 600 К образцах.

Растворимость на основе Ag_2S и Cu_2SnS_3 при эвтектической температуре составляет 11 и 15 мол.%, при температуре 600 К-4 и 11 мол.%, а при 300 К – 1,0 и 10 мол.% соответственно. В сплавах богатых сульфидом серебра по сравнению Ag_2S увеличивается значение микротвердости, что доказывает образование ограниченной области твердых растворов на его основе. Такая же картина наблюдается в области концентрации 90–100 мол.% Cu_2SnS_3. В двухфазной области (1,0–90 мол.% Cu_2SnS_3)наблюдаются два набора значения микротвердости 3710 и 3250 МПа, относящиеся к значениям микротвердости α и β твердых растворов.

По данным рентгенофазового анализа (рис. 2), сплавы содержащие 0–1 и 90–100 мол.% Cu_2SnS_3 однофазные и представляют собой твердые растворы типа замещения на основе Ag_2S (α) и Cu_2SnS_3 (β). В интервале концентрации 1,0–90 мол.% Cu_2SnS_3 совместно кристаллизуются α и β-фазы. Параметри кубической решетки твердых растворов $(Cu_2SnS_3)_{1-x}$ $(Ag_2S)_X$ рассчитаны по методу [23, 24].

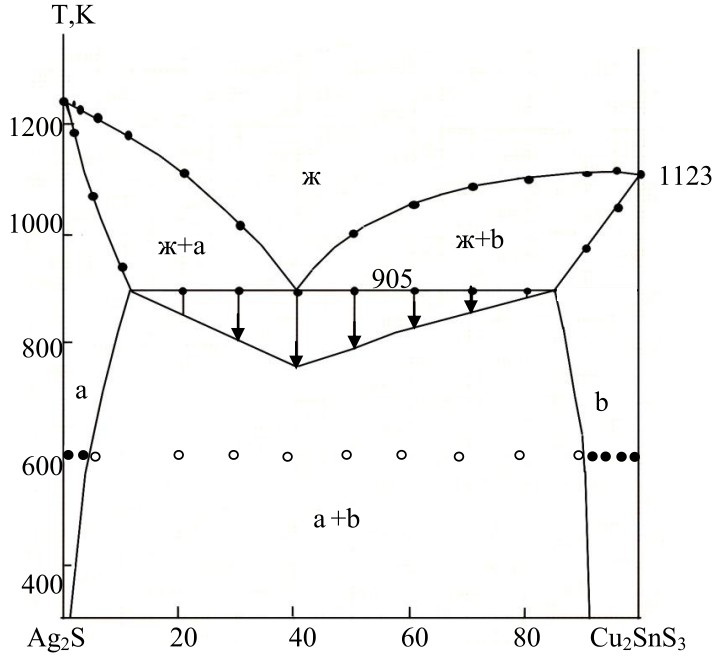


Рис. 1. T-x фазовая диаграмма системы Ag_2S-Cu_2SnS_3

● *– однофазные сплавы,* ○ *– двухфазные сплавы*

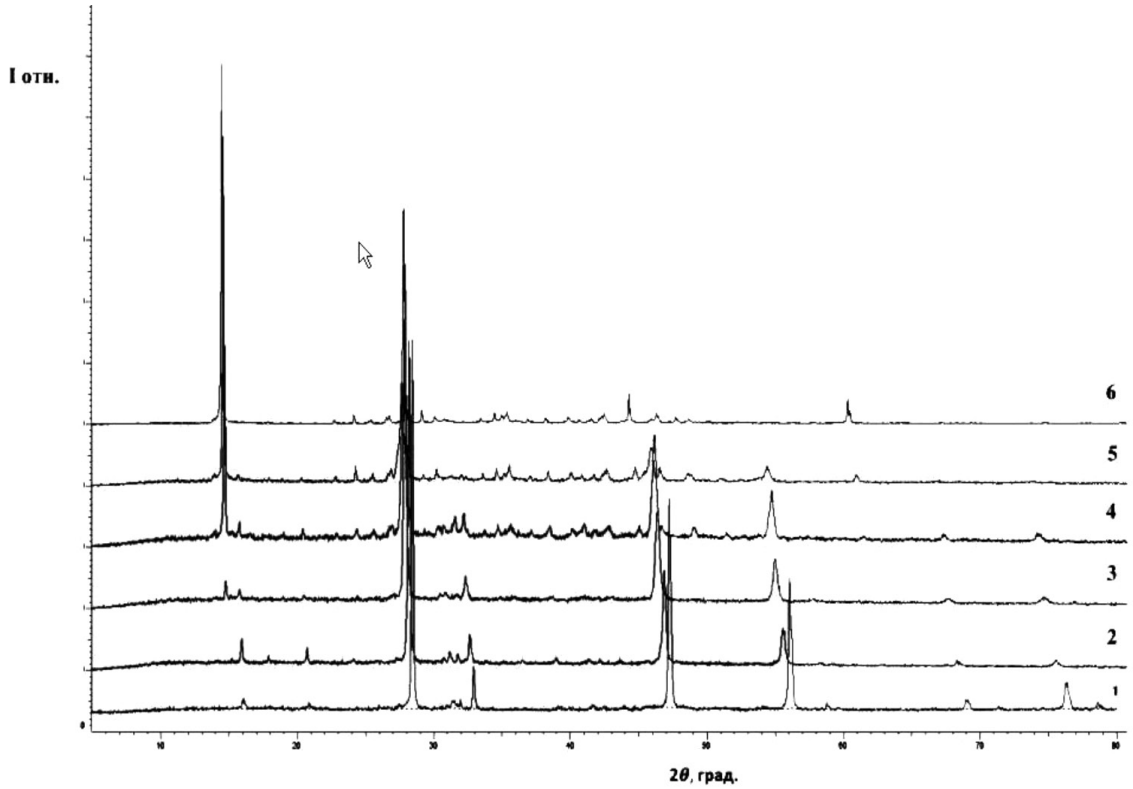


Рис. 2. Дифрактограммы сплавов системы Ag_2S-Cu_2SnS_3: 1 – Cu_2SnS_3; 2 – 5 мол % Ag_2S; 3 – 10 мол % Ag_2S; 4 – 60 мол % Ag_2S; 5 – 80 мол % Ag_2S; 6 – Ag_2S

Таблица 3

Кристаллографические и некоторые физико-химические параметры твердых растворов $(Cu_2SnS_3)_{1-x}(Ag_2S)_x$

Состав	a, Å	Z	V, Å^3	d, г/см^3	Hμ, МПа
Cu_2SnS_3	5,445	4	161,43	5,02	2800
$Cu_{1,96}Sn_{0,98}Ag_{0,04}S_{2,96}$	5,452	4	162,06	5,35	2840
$Cu_{1,90}Sn_{0,95}Ag_{0,10}S_{2,90}$	5,464	4	163,13	5,44	2950
$Cu_{1,88}Sn_{0,94}Ag_{0,12}S_{2,88}$	5,485	4	165,02	5,58	3010
$Cu_{1,84}Sn_{0,92}Ag_{0,16}S_{2,82}$	5,506	4	166,92	5,66	3250
$Cu_{1,80}Sn_{0,90}Ag_{0,20}S_{2,80}$	5,564	4	172,25	5,66	3250

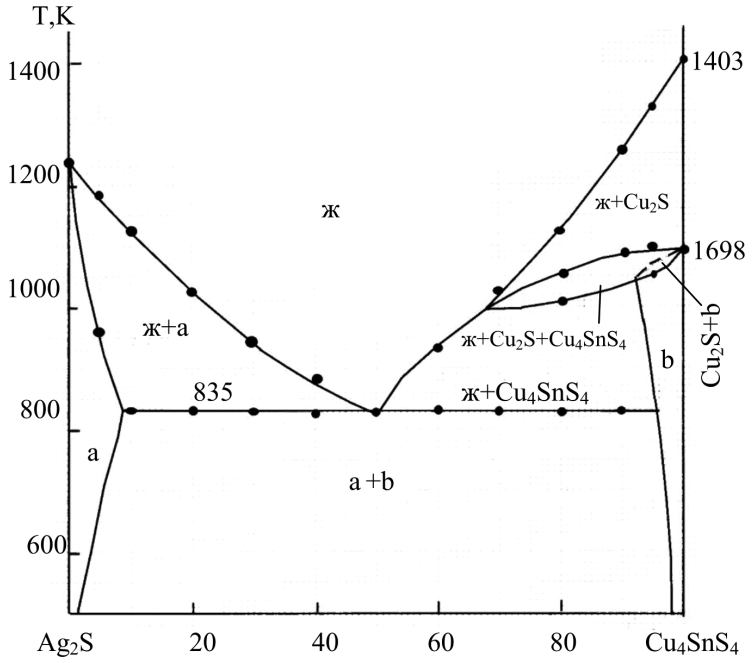


Рис. 3. T-x фазовая диаграмма системы Ag_2S-Cu_4SnS_4

Установлено, что с увеличением содержания сульфида серебра Ag_2S параметр кубической кристаллической решетки β-твердых растворов увеличивается (табл. 3).

Следует отметить, что сульфид серебра Ag_2S триморфен при нормальном давлении в интервале от комнатной температуры до плавления имеет 3 полиморфные модификации α, β и γ. Однако на термограммах сплавов богатой Ag_2S тепловые эффекты, соответствующие указанным превращениям, не зафиксировaы. По-видимому, это связано с выделением небольших количеств тепла эффектов не чувствительных для регистрации термографа Н.С. Курнакова марки НТР-73. Исходя из этого, фазовые превращения α-Ag_2S↔β-Ag_2S↔γ-Ag_2S на рис. 1 не показаны.

Так как соединение Cu_4SnS_4 плавится инконгруэнтно, разрез Ag_2S-Cu_4SnS_4 (рис. 3) является частично-квазибинарным сечением квазитройной системы Ag_2S-SnS_2-Cu_2S. Квазибинарность нарушается в интервале концентрации ~67÷100 мол.% Cu_4SnS_4 и в температурном интервале от 1000 К до температуры ликвидуса, т.е. до температуры перитектического образования соединения Cu_4SnS_4. Поэтому в указанном интервале концентрации появляются двух (ж + Cu_2S) и трехфазные (ж + Cu_2S + Cu_4SnS_4) области.

В интервале концентрации 0–67 мол.% Cu_4SnS_4 разреза Ag_2S-Cu_4SnS_4 сплавы совместно кристаллизуются в эвтектической точке.

Координаты эвтектической точки: 50 мол.% Ag_2S и T = 83 К. Растворимость на основе компонентов при комнатной температуре ограниченная и составляет 2 мол.% на основе Ag_2S (α-твердые

растворы) и 1,5 мол.% на основе Cu_4SnS_4 (β-твердые растворы).

В интервале концентрации 0–67 мол.% Cu_4SnS_4 разреза Ag_2S-Cu_4SnS_4 сплавы совместно кристаллизуются в эвтектической точке.

Координаты эвтектической точки: 50 мол.% Ag_2S и T = 835 K. Растворимость на основе компонентов при комнатной температуре ограниченная и составляет 2 мол.% на основе Ag_2S (α-твердые растворы) и 1,5 мол.% на основе Cu_4SnS_4 (β-твердые растворы).

Таким образом, впервые изучены фазовые равновесия в системах Ag_2S-Cu_2SnS_3 и Ag_2S-Cu_4SnS_4 и построены их т-х фазовые диаграммы. Установлено, что первая система является квазибинарной и относится к эвтектическому типу, а вторая система является частично квазибинарным сечением квазитройной системы Ag_2S-SnS_2-Cu_2S.

Заключение

1. Квазитройная система Ag_2S-SnS_2-Cu_2S изучена по разрезам Ag_2S-Cu_2SnS_3 и Ag_2S-Cu_4SnS_4 и построена их Т-х фазовая диаграмма. Установлено, что первая система является квазибинарным сечением и относится к эвтектическому типу, а вторая – частично квазибинарным сечением.

2. Растворимость на основе исходных сульфидов при комнатной температуре ограниченная и не превышает 10 мол.%.

Список литературы

1. Kim K.M., Tampo H., Shibata H., Niki S. Growth and characterization of cavaporated, Cu_2SnSe_3 thin films for photovoltaic applications. Thin solid films. 2013. Vol. 536. № 1. P. 111–114. DOI: 10.1016/ j.tsf.2013.03.119.

2. Avellaneda D., Nair M.T.S., Nair P.K. Cu_2SnSe_3 and Cu_4SnS_4 thin films via chemical deposition for photovoltaic application. J. Thermochem. Soc. 2010. Vol. 158. № 6. P. 346–352.

3. Алферов Ж.И. Революция в области полупроводников в XX веке // Успехи химии. 2013. Т. 82. № 7. С. 587–596.

4. Phancendra Reddy., Ramakrishna Reddy K.T. Preparation and characterization of Cu_2SnSe_3 thin films by two stage process for solar sell application. Materials today. 2017. Vol. 4 (14). P. 12401–12406.

5. Xu Z., Bando Y., Wang W., Bai X., Golberg D. Realtime in situ HRTEM – resolved resistance switching of Ag_2S ranoscale ionic conductor. ACS Nano. 2010. Vol. 4 (5). P. 2515–2522.

6. Mostafa Shawny., Atef Shewouda., El-Shereafy., Ibrahim Ahmed Ibrahim. Synthesis characherization and performance of Cu_2SnSe_3 for solar cell application. Intern. J. Scientific and Engin. Reselurch. 2015. № 7. P. 1447–1453.

7. Sharma R.C., Chane Y.A., The AgS (silver-sulfur) system. Bull. Alloys Phase diagrams. 1986. Vol. 7. № 3. P. 263–269.

8. Sadovnikov S.I., Gusev A.I., Rempel A.A. Artificial; silver sulfide Ag_2S: crystal structure and particle size in deposited powders. Superlattices and Microstructures. 2015. Vol. 83. P. 35–47.

9. Sadovnikov S.I., Gusev A.I., Churkin A.V., Rempel A.A. Hightemperature X-ray diffraction and thermal expansion of nanocrystalline and coarsecrustalline acantite ∞ – Ag_2S and argentite β- Ag_2S. Phys. Chem. Chem. Phys. 2016. Vol. 18. № 6. P. 4617–4626.

10. Садовников С.И., Гусев А.И., Ремпель А.А. Синтез нанокристаллов сульфида серебро // Неорган. Матер. 2015. Т. 51. № 8. С. 759–766.

11. Delgado G.E., Mora A.Y., Marcano G., Rincon C. Grystal structure refinement of the semiconducting compound Cu_2SnS_3 from X-ray power diffraction data. Mater. Res. Bull. 2003. Vol. 38. P. 1949–1955. DOI: 10.1016/j. materresbull.2003.09.017.

12. Alias M.F.A., Naji I.S., Taher B.Y., Al-Douri A.A.J. Synthesis Cu_2SnS_3 and Cu_3SnS_4 nanopowder and studing the composition, structural and morphological properties. J. Non-Oxide Glasses. 2016. Vol. 8. № 4. P. 93–97.

13. Onoda M., Chen X.A., Sato A., Wada H. Grystal structure and twinning of monoclinic Cu_2SnS_3. Mater. Res. Bull. 2000. Vol. 35. № 8. P.1563–1570. DOI: 10.1016/ Soo25-5408(00)00347-0.

14. Florian Oliva., Laia Arqués., Laura Acebo., Maxim Guc., Yudania Sánchez., Xavier Alcobé., Alejandro Pérez-Rodríguez., Edgardo Saucedo., Victor Izquierdo-Roca. Characterization of Cu_2SnS_3, polymorphism and its impacton optoelectronic properties. J. Mater. Chem. A. 2017. Vol. 45. № 5. P. 23863–23871.

15. Yusuke Matsumato., Atsushi Munemura., Naoya Lihora. Preparation of monoclinic Cu_2SnS_3, single crystal by chemical vapor transport with lodine. Materials Letters. 2016. Vol. 170. № 1. P. 154–160.

16. Khanafer W., River J., Flahaut J. Etude du ternaire Cu Sn-S . Diagrammes dequlibrie des systemes Cu_2S –SnS, Cu_2S – Sn_2S_3 et Cu_2S – SnS_2 Etude crystallographique composes Cu_4SnS_4, Cu_2SnS_3, $Cu_2Sn_4S_4$, et $Cu_4Sn_3S_8$. Bull. Soc. chim. France. 1974. № 12. P. 267–276.

17. Giaccherini A., Montegrossi G., Francesco Di Benedetto. Stability of naturally relevant ternary phases in the Cu–Sn–S system in contact with an aqueous solution. J. Materials. 2016. № 6. P. 79–85. DOI:10.3390/min 6030079 wdpi/ com/ journal/mineruls.

18. Mehdi A., Mohammed M., Xosein F. Preparation and characterization Cu_2SnS_3 ternary semiconductor nanostructures via the spray pyrolysis technique for photovoltaic applications. Iorsience, 2012. Vol. 85. № 1. P. 1–2.

19. Hao Guan., Honglie Shen., Chao Gao., Xiancong He. Structural and optical properties of Cu_2SnS_3 and Cu_4SnS_4 thin films by successine ionic layer adsorption and reaction. J. Mater. Science Materialsin Electronics. 2012. Vol. 24. № 5. P. 120–124.

20. Kamalanathan M., Hussain Shamima, Gopalakrishnan R., Vishista K. Influence of solveuts on solvothermal synthesis of Cu_2SnS_3 nanoparticles with enhanced optical photoconductivite and electrical properties. Materials Technology Advanced Perfomance Materials 2018. Vol. 33. № 2. P. 72–78.

21. Рзагулиев В.А., Керимли О.Ш., Аждарова Д.С., Мамедов Ш.Г., Алиев О.М., Фазовые равновесия в системах Ag_8SnSe_6 – Cu_2SnS_3 и Ag_2SnS_3 – $Cu_2Sn_4S_4$ // Конденсированные среды и межфазные границы. 2019. Т. 21. № 4. С. 544–551. DOI: 10/17308/komf.2019. 21/2365.

22. Rzaguliev V.A., Kerimli O.Sh., Mamedov Sh.G. Investigation of the quasi-binary section Cu_2SnS_3 – Ag_2SnS_3 in the quasi – ternary system Ag_2S -Cu_2S- SnS_2. In: Proc. XXI Intern. Conf. st Petersburg. 2019. P. 20–21.

23. Пушаревский Д.Ю. Рентгенография минералов. М.: ЗАО «Геоинформ. Марк», 2000. 292 с.

24. Менсон Г., Стиял Г. Интерпрестация порошковах рентгенограми. М.: Мир, 1982. 324 с.

УДК 548.736.398:546.682

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ $InTe-Sb_2Te_3$

[1]Мамедова Н.А., [1]Алиев И.И., [2]Мехтиева С.Т., [3]Амирасланов И.Р.

[1]Институт катализа и неорганической химии им. М.Ф. Нагиева НАН Азербайджана, Баку, e-mail: aliyevimir@rambler.ru;

[2]Гянджинский государственный университет, Гянджа;

[3]Институт физики НАН Азербайджана

В данной работе комплексными методами физико-химического анализа изучено взаимодействие компонентов и построена T-x-фазовая диаграмма системы $InTe-Sb_2Te_3$. Система квазистабильная и в субсолидусе кристаллизуются два двухфазных сплава ($\alpha + In_3Sb_2Te_6$) и ($\beta + InSb_2Te_4$). В системе образуются два соединения составов $In_3Sb_2Te_6$ и $InSb_2Te_4$. Соединение $In_3Sb_2Te_6$ плавится конгруэнтно при 575 °C, а соединение $InSb_2Te_4$ инконгруэнтно при 590 °C. В системе определена узкая область твердых растворов на основе исходных компонентов. Область твердых растворов на основе InTe простирается до 3 мол.%, а на основе Sb_2Te_3 – до 5 мол.%. Результаты рентгенографических данных показали, что соединение $In_3Sb_2Te_6$ кристаллизуется в ромбоэдрической сингонии с параметрами решетки: a = 4,2248; b = 4,2248; c = 30,3229 Å. пр.гр.R-3m. Соединение $InSb_2Te_4$ изоструктурно с $In_3Sb_2Te_6$ и кристаллизуется в ромбоэдрической сингонии с параметрами элементарной ячейки: a = 4,2374; b = 4,2374; c = 30,3938 Å. пр.гр. R-3m. Часть диаграммы состояния системы $\alpha + In_3Sb_2Te_6$ образует эвтектику состава 17 мол.% Sb_2Te_3 и плавится при 525 °C. Соединения $In_3Sb_2Te_6$ и $InSb_2Te_4$ между собой образуют эвтектику состава 32 мол.% Sb_2Te_3 и плавится при 550 °C. Для определения полупроводникового характера и области применения полученнных образцов изучены электрофизические свойств в интервале температур 25–300 °C. Изучены температурная зависимость электропроводности и термо-э.д.с. твердых растворов $(Sb_2Te_3)_{1-x}(InTe)_x$ (где x = 0,01; 0,02; 0,03; 0,05). Концентрационная зависимость электрофизических параметров указывает на процес компенсации носителей зарядов при малых содержаниях InTe в Sb_2Te_3. Полученные сплавы твердых растворов на основе Sb_2Te_3 являются полупроводниками p-типа проводимости.

Ключевые слова: система, твердый раствор, квазибинарный, эвтектика, солидус

INVESTIGETION OF INTERACTION IN $InTe-Sb_2Te_3$ SYSTEM

[1]Mamedova N.A., [1]Aliev I.I., [2]Mekhtieva S.T., [3]Amiraslanov I.R.

[1]Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after M.F. Nagiyev National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, e-mail: aliyevimir@rambler.ru;

[2]Ganja State University, Ganja;

[3]Institute of Physics, National Academy of Sciences of Azerbaijan

In this work, the interaction of components was studied by complex methods of physicochemical analysis and the T-x phase diagram of the $InTe-Sb_2Te_3$ system was constructed. The system is quasistable and two biphasic alloys ($\alpha + In_3Sb_2Te_6$) and ($\beta + InSb_2Te_4$) crystallize in the subsolidus. Two compounds of the compositions $In_3Sb_2Te_6$ and $InSb_2Te_4$ are formed in the system. The $In_3Sb_2Te_6$ compound melts congruently at 575 °C, and the $InSb_2Te_4$ compound is incongruent at 590 °C. In the system was defines a narrow region of solid solutions based on the starting components. The region of solid solutions based on InTe extends to 3 mol%, and the based Sb_2Te_3 – up to 5 mol%. The results of X-ray diffraction data showed that the $In_3Sb_2Te_6$ compound crystallizes in a rhombohedral system with lattice parameters: a = 4.2248; b = 4.2248; c = 30.3229 Å. sp.gr.R-3m. The $InSb_2Te_4$ compound is structural with $In_3Sb_2Te_6$ and crystallizes in a rhombohedral system with unit cell parameters: a = 4.2374; b = 4.2374; c = 30.3938 Å. sp.gr. R-3m. Part of the state diagram of the $\alpha + In_3Sb_2Te_6$ system forms a eutectic with a composition of 17 mol% Sb_2Te_3 and melts at 525 °C. Compounds $In_3Sb_2Te_6$ and $InSb_2Te_4$ with each other form a eutectic composition of 32 mol% Sb_2Te_3 and melts at 550 °C. To determine the semiconductor nature and field of application of the obtained samples, the electrophysical properties were studied in the temperature range 25-300 °C. The temperature dependence of electrical conductivity and thermo-emf was studied solid solutions $(Sb_2Te_3)_{1-x}(InTe)_x$ (where x = 0.01; 0.02; 0.03; 0.05). The concentration dependence of the electrophysical parameters indicates the process of compensation of charge carriers at low InTe contents in Sb_2Te_3.The obtained alloys of solid solutions based on Sb_2Te_3 are p-type semiconductors.

Keywords: system, solid solution, quasi-binary, eutectic, solidus

Халькогениды элементов III основной подгруппы, а также многокомпонентные полупроводниковые фазы на их основе являются фотоэлектрическими и магнитными материалами [1]. Халькогениды индия обладают своеобразными термоэлектрическими и люминесцентными свойствами [2–4].

В литературе [5–7] показано, что соединение Sb_2Te_3 и сплавы на его основе как термоэлектрические материалы используются в электронной промышленности. Поэтому исследование характера взаимодействия между халькогенидами InTe с халькогенидами Sb_2Te_3 весьма актуально.

Последние годы нами были исследованы некоторые квазитройные системы с участием халькогенидов индия и сурьмы [8, 9].

Целью настоящей работы является выяснение взаимодействия в системе InTe-Sb_2Te_3, а также определение области твердых растворов и новых соединений.

Соединение InTe плавится конгруэнтно при 696°С и имеет тетрагональную решетку с параметрами: a = 8,437; c = 7,139 Å, Z = 8, пр.гр. 14/mmc – D^{18}_{4h}: его плотность ρ = 6,29 г / см^3, микротвердость 960 МПа [10] .

Соединение Sb_2Te_3 плавится конгруэнтно при 622 °С и кристаллизуется в ромбоэдрической-гексагональной сингонии с параметрами решетки: a = 1,0436 Å; a_h = 4,262 Å; c = 30,450 Å, β = 23°34, пр.гр. R3m-D^5_{3d}, ρ = 6,513 г/см^3 [10].

Материалы и методы исследования

Для синтеза исходных компонентов системы InTe-Sb_2Te_3 были использованы особо чистые элементы: индий марки In-000, сурьма марки 99,999 % и теллур марки В-4, дополнительно очищенный семикратной дистилляцией. Тройные сплавы получали непосредственным сплавлением компонентов в эвакуированных до 0,133 Па кварцевых ампулах в интервале температур 700–900 °С. Режим синтеза подбирали исходя из физико-химических свойств элементарных компонентов и бинарных соединений (InTe, Sb_2Te_3) и предварительных данных ДТА тройных сплавов. После синтеза образцы выдерживались при 500 °С в течение 240 ч. Сплавы системы InTe-Sb_2Te_3 исследовали методами дифференциально-термического (ДТА), рентгенофазового (РФА), микроструктурного (МСА) анализов, а также измерением микротвердости и определением плотности.

Термограммы образцов системы InTe-Sb_2Te_3 снимали на приборе марки TEMSCAN-2 со скоростью нагревания 10 град/мин. Термограммы некоторых образцов снимали до и после отжига до получения стабильных результатов.

Рентгенограммы сплавов снимали на рентгеновском приборе модели D2 PHASER с использованием CuKα излучения. Микроструктурный анализ сплавов проводили на металлографическом микроскопе марки МИМ-8. Для выявления микроструктуры сплавов использовали травитель состава HNO_3конц: H_2O_2 = 2:1, время травления составило 10 с.

Микротвердость каждой фазы измеряли на приборе марки ПМТ-3 при нагрузке 0,10 и 0,15 Н. Плотность для образцов определяли пикнометрическим методом. Электрофизические свойства твердых растворов $(Sb_2Te_3)_{1-x}(InTe)_x$ (x = 0,01; 0,02; 0,03; 0,05) изучены в интервале температур 25–300 °С. Измерения электропроводности и термо-э.д.с. проводили зондовым методом [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Синтезированные сплавы системы InTe-Sb_2Te_3 компактные светло-серого цвета. Сплавы устойчивы по отношению к воздуху и воде. Концентрированные минеральные кислоты (HNO_3, H_2SO_4) и щелочи разлагают их.

Результаты ДТА показали, что все фиксированные термические эффекты на кривых нагревания и охлаждения обратимые. На термограммах сплавов системы обнаружены по два эндотермических эффекта. Микроструктурный анализ сплавов системы InTe-Sb_2Te_3 показал, что в интервале 0–3, 25, 50 и 95–100 мол.% Sb_2Te_3 сплавы однофазные, а остальные сплавы двухфазные.

С целью подтверждения результатов ДТА и МСА проводили рентгенофазовый анализ. На основании порошковых рентгенограмм вычислены межплоскостные расстояния и интенсивность дифракционных максимумов. Установлено, что дифрактограммы сплавов, содержащих 25 и 50 мол.% Sb_2Te_3 отличаются от исходных соединений (рис. 1).

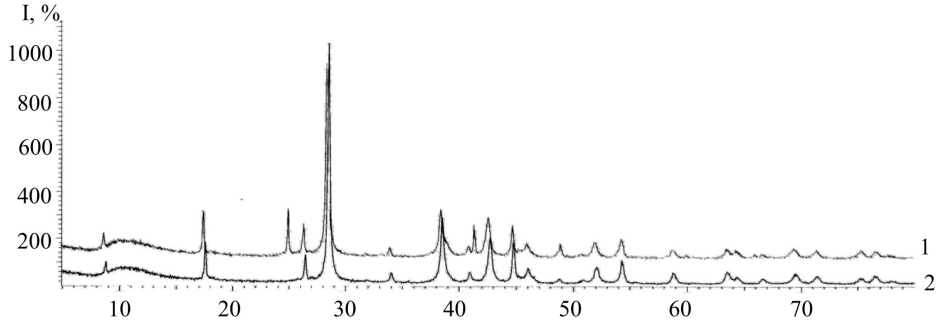


Рис. 1. Дифрактограммы сплавов системы InTe-Sb_2Te_3: 1 – 25 мол % Sb_2Te_3 ($In_3Sb_2Te_6$), 2 – 50 мол % Sb_2Te_3 ($InSb_2Te_4$)

Таблица 1

Межплокостные расстояния (d, hkl) и интенсивность линий на дифрактограмме соединений $In_3Sb_2Te_6$ и $InSb_2Te_4$

$In_3Sb_2Te_6$					$InSb_2Te_4$				
d ,Å	I.%	h	к	l	d ,Å	I.%	h	к	l
10.10767	12.9	0	0	3	10.13127	8.7	0	0	3
5.05383	25.4	0	0	6	5.06563	18.4	0	0	6
3.55668	20,9	1	0	2	3.37709	12.9	0	0	9
3.36922	18, 6	0	0	9	3.14161	100.0	1	0	5
3.13281	100.0	1	0	5	2.63947	4.9	1	0	8
2.63245	6.0	1	0	8	2.34077	29.6	1	0	10
2.33470	26.0	1	0	10	2.20734	5.8	1	0	11
2.20168	7.3	1	0	11	2.11869	21.1	1	1	0
2.11239	18.3	1	1	0	2.02625	18.2	0	0	15
2.06772	3.3	1	1	3	1.97180	7.5	1	0	13
2.02153	18.0	0	0	15	1.86850	3.1	1	0	14
1.96684	7.7	1	0	13	1.79473	2.9	1	1	9
1.94899	3.5	1	1	6	1.69013	12.4	2	0	7
1.86383	4.8	1	0	14	1.68854	10.8	0	0	18
1.75144	8.0	2	0	5	1.57081	5.6	2	0	10
1.68461	10.6	0	0	18	1.46640	6.2	1	0	19
1.56641	5,5	2	0	10	1.46436	6.0	1	1	15
1.52427	1.8	2	0	11	1.40406	2.9	1	0	20
1.46284	6.1	1	0	19	1.35226	4.0	2	1	5
1.46050	5.8	1	1	15	1.31974	4.2	2	0	16
1.44395	5.2	0	0	21	1.26183	2.8	2	1	10
1.43948	3.8	2	0	13	1.24331	4.2	I	0	23
1.40066	3.7	1	0	20	1.23960	2.6	2	1	11
1.36044	2.6	2	1	4					
1.34828	48	2	1	5					
1.31739	4.4	2	1	7					
1.25822	5.0	2	1	10					
1.24033	4.9	1	0	23					

Соединение $In_3Sb_2Te_6$ плавится конгруэнтно при 575 °C и кристаллизуется в ромбоэдрической сингонии с параметрами: $a = 4{,}2248$; $b = 4{,}2248$; $c = 30{,}3229$; пр.гр. R-3m. Соединение $InSb_2Te_4$ плавится инконгруэнтно при 590 °C, изоструктурно с $In_3Sb_2Te_6$, и кристаллизуется в ромбоэдрической сингонии с параметрами элементарной решетки: $a = 4{,}2374$; $b = 4{,}2374$; $c = 30{,}3938$; пр.гр. R-3m. Рентгенографические данные соединений $In_3Sb_2Te_6$ и $InSb_2Te_4$ приведены в табл. 1.

Фазовая диаграмма системы $InTe$-Sb_2Te_3, построенная по совокупности данных вышеуказанных методов, приведена на рис. 2. Установлено, что в системе при соотношении 3:1 и 1:1 образуются химические соединения составов $In_3Sb_2Te_6$, $InSb_2Te_4$ соответственно.

Ликвидус системы состоит из четырех кривых моновариантных равновесий: α-фаза, новые соединения $In_3Sb_2Te_6$, $InSb_2Te_4$ и β-фаза (твердые растворы на основе Sb_2Te_3). α-фаза с соединением $In_3Sb_2Te_6$ образует эвтектику состава 17 мол.% Sb_2Te_3 при 525 °C. Координаты второй эвтектики составляет 32 мол.% Sb_2Te_3 при 550 °C.

Некоторые физико-химические данные сплавов системы $InTe$-Sb_2Te_3 приведены в табл. 2. При измерении микротвердости сплавов системы $InTe$-Sb_2Te_3 получены четыре ряда значений табл. 2.

Для α-фазы микротвердость изменяется в пределах (960–1020) МПа, значение микротвердости (1100–1120) МПа соответствует фазе $In_3Sb_2Te_6$, значение микротвердости (1330–1350) МПа соответствует фазе $InSb_2Te_4$, для β-фазы значения микротвердости изменяется в пределах (860–880) МПа.

Электрофизические свойства твердых растворов $(Sb_2Te_3)_{1-x}(InTe)_x$ (где x = 0,01; 0,02; 0,05) измерены в интервале T = 300–575 K. Температурная зависимость удельной электропроводности твер-

дых растворов на основе Sb_2Te_3 приведена на рис. 3. Как видно, с ростом температуры электропроводность для всех образцов твердых растворов $(Sb_2Te_3)_{1-x}(InTe)_x$ (где x = 0,01; 0,02; 0,05) значительно уменьшается, а в дальнейшем, с ростом температуры, увеличивается.

При температуре 300 К электропроводность для сплавов, содержащих 1, 2, 3, и 5 мол.% InTe, составляет $\sigma = 16{,}8 \cdot 10^4$ Ом^{1}·м$^{-1}$, $15{,}8 \cdot 10^4$ Ом^{1}·м$^{-1}$, $14 \cdot 10^3$ Ом^{1}·м$^{-1}$ и $12 \cdot 10^4$ Ом^{1}·м$^{-1}$, соответственно уменьшаясь с повышением содержания InTe в составе твердых растворов. Электропроводность падает в интервале температур T = 300–575 К, в этой области проводимость носит металлический характер, затем возрастает, что говорит о наступлении собственной проводимости (рис. 3).

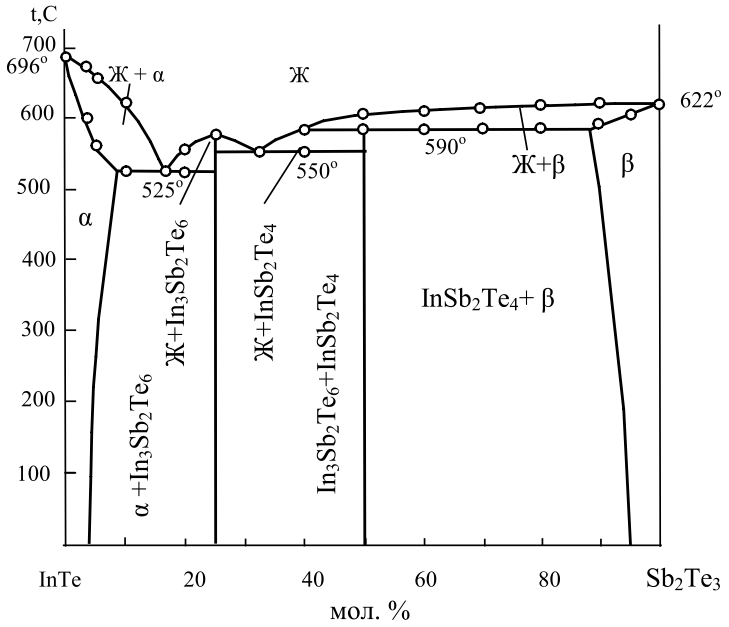


Рис. 2. T-x фазовая диаграмма системы InTe-Sb_2Te_3

Таблица 2

Составы, результаты ДТА, измерения микротвердости и определения плотности сплавов системы InTe-Sb_2Te_3

Состав, мол%		Термические эффекты, °С	Плотность, г/см^3	Микротвердость фаз, МПа			
InTe	Sb_2Te_3			α	$In_3Sb_2Te_6$	$InSb_2Te_4$	β
				P = 0,15 Н			P = 0,10 Н
100	0,0	696	6,29	960	–	–	–
97	3,0	600,680	6,30	970	–	–	–
95	5,0	565,660	6,30	990	–	–	–
90	10	525,625	6,30	1020	–	–	–
83	17	525	6,31	Эвт.	Эвт.	–	–
80	20	525,560	6,32	–	1120	–	–
75	25	575	6,33	–	1100	–	–
68	32	550	6,30	–	Эвт.	Эвт.	–
60	40	550,590	6,33	–	–	1350	–
50	50	590,605	6,37	–	–	1340	–
40	60	590,610	6,34	–	–	1340	–
30	70	590,615	6,40	–	–	1330	870
20	80	590, 620	6,46	–	–	1330	870
10	90	595, 620	6,48	–	–	–	880
5,0	95	600	6,50	–	–	–	880
0,0	100	622	6,51	–	–	–	860

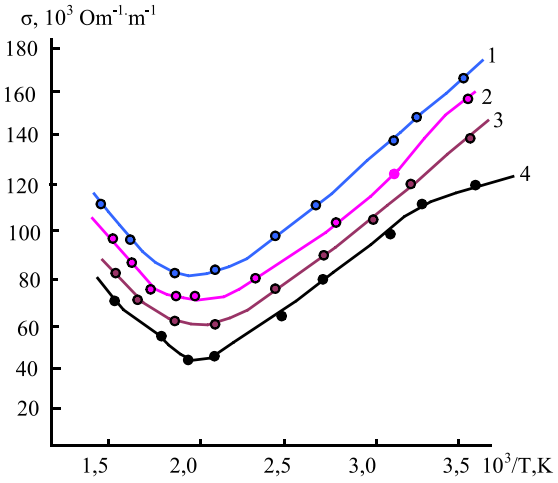


Рис. 3. Температурные зависимости электропроводности сплавов твердых растворов $(Sb_2Te_3)_{1-x}(InTe)_x$: 1 – 0,01; 2 – 0,02; 3 – 0,03;4 – 0,05)

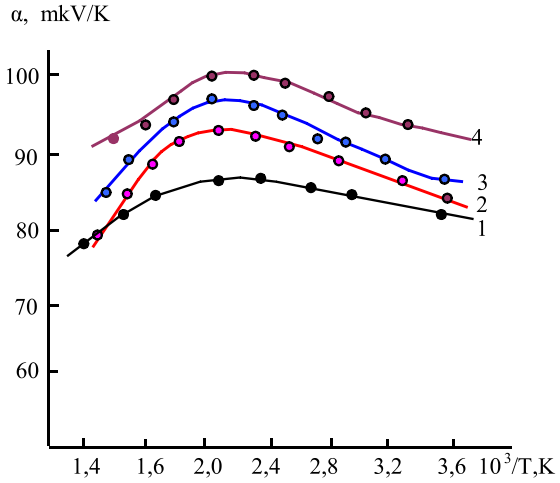


Рис. 4. Температурные зависимости термо-э.д.с. сплавов твердых растворов $(Sb_2Te_3)_{1-x}(InTe)_x$: 1 – 0,01; 2 – 0,02; 3 – 0,03; 4 – 0,05)

На рис. 4 представлен график температурной зависимости коэффициента термо-э.д.с. сплавов твердых растворов $(Sb_2Te_3)_{1-x}(InTe)_x$. (x = 0,01; 0,02; 0,03; 0,05). С ростом температуры для сплавов содержащих 1, 2, 3 и 5 мол. % InTe соответственно, термо-э.д.с. возрастает до значений 87, 93, 97 и 100,5 мкВ/К, после чего постепенно падает с дальнейшим повышением температуры. Исследованные сплавы твердых растворов имеют p-тип проводимости.

Список литературы

1. Боледзюк В.Б., Кудринский С.Г., Ковалюк С.Д., Шевченко А.Д. Ферромагнетизм при комнатной температуре в слоистых полупроводниковых кристаллах InTe, интеркальованих кобальтом // Журн. нано- и электрон. физики. 2015. Т. 7. № 1. С. 01027.

2. Pandian Mannu, Matheswaran Palanisamy, Gokul Bandaru, Sathyamoorthy Ramakrisamy, Meena Ramcharan, Asokan Kandasami. Structural and thermoelectric properties of Se doped In_2Te_3 thin films. AIP Advances. 2018. V. 8. P. 115015. DOI: 10.1063/1.5057734.

3. Athorn Vorauda, Chanchana Thanachayanont, Suwit Jugsujinda, Vittaya Amornkitbamrungc,Tosawat Seetawana. Study on Electronic Structure of β-In_2Te_3 Thermoelectric Materialfor Alternative Energy. Procedia Engineering. 2011. V. 8. P. 2–7. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.03.001Get rights and content.

4. Мехдиева И.Ф. Имамалиева С.З. Мирзоева Р.Дж., Бабанлы М.Б. Соединения типа новый класс термоэлектрических материалов с аномально низкой теплопроводностью // Микро- и нанотехнологии в электронике: IX Международная научно-техническая конференция. Нальчик, 2017. С. 108–112.

5. Eliana M.F. Vieira, Joana Figueirab, Ana L. Piresc, José Griloa, Manuel F. Silva, André M.Pereirac, Luis M.Goncalves. Enhanced thermoelectric properties of Sb_2Te_3 and Bi_2Te_3 films for flexible thermal sensors. Journal of Alloys and Compounds. 2019. V. 774, 5 February. P. 1102–1116. DOI: 10.1016/j.jallcom.2018.09.324.

6. Bin Xu, Jing Zhang, Gongqi Yu, Shanshan Ma, Yusheng Wang, and Yuanxu Wang Thermoelectric properties of monolayer Sb_2Te_3. Journal of Applied Physics. 2018. V. 124. P. 165104. DOI: 10.1063/1.5051470.

7. Kulbachinskii V.A., Kytin V.G., Zinoviev D.A. et al. Thermoelectric Properties of Sb_2Te_3-Based Nanocomposites with Graphite. Semiconductors. 2019. V. 53. P. 638–640. DOI: 10.1134/S1063782619050129.

8. Мамедова Н.А., Алиев И.И., Шахбазов М.Г. Физико-химическое исследование системы Sb_2Te_3-GaTe // Приоритеты инновационно-технологического развития в условиях глобализация: Международная научно-практическая конференция. Белгород, 27 февраля 2019. С. 14–16.

9. Заргарова М.И., Мамедов А.Н., Аждарова Д.С., Ахмедова (Велиев) Дж.А., Абилов Ч.И. Справочник: Неорганические вещества, синтезированные и исследованные в Азербайджане. Баку: Изд. Элм, 2004. 462 с.

10. Физико-химические свойства полупроводниковых веществ. Справочник. М.: Изд-во Наука, 1979. 339 с.

11. Коломиец Н.Б. Измерение термоэлектродвижущей силы и удельного сопротивления в интервале температур от 20 до 1900 °C // Заводская лаборатория. 1962. Т. 28. № 2. С. 238–240.

УДК 544.165

МОДЕЛИ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ СВЯЗЬ СТРУКТУРА – АКТИВНОСТЬ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ ХРОНИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ РЫБ

[1]Раевский О.А., [1]Раевская О.Е., [1]Григорьев В.Ю., [1]Раздольский А.Н., [2]Григорьева Л.Д.

[1]ФГБУН «Институт физиологически активных веществ» РАН, Черноголовка, e-mail: rasd@ipac.ac.ru;

[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Работа посвящена QSAR-моделированию хронической токсичности органических соединений по отношению к рыбам. Для исследования использовали данные по хронической токсичности (NOEC) 29 соединений по отношению к тупоголовому гольяну (*Pimephales promelas*), а также величины острой токсичности (LC_{50}) для гуппи (*Poecilia reticulate*), тупоголового гольяна (*Pimephales promelas*), радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) и для дафнии магна (*Daphnia magna*), которые были заимствованы из собственных работ и литературных данных. Структуру химических соединений описывали с помощью дескрипторов, которые рассчитывали с использованием компьютерных программ HYBOT, SLIPPER и DRAGON. Статистическое моделирование проводили на основе линейного регрессионного анализа. В результате были созданы три регрессионные модели хронической токсичности органических соединений неспецифического типа действия по отношению к тупоголовому гольяну (*Pimephales promelas*) *с* использованием: 1) экспериментальных и рассчитанных значений коэффициента распределения соединений в системе октанол – вода; 2) экспериментальных значений острой токсичности для гуппи, тупоголового гольяна, радужной форели и дафнии магна 3) физико-химических дескрипторов. Установлено, что QSAR-модель на основе физико-химических дескрипторов обладает ясным физическим смыслом и обеспечивает возможность описания хронической токсичности как баланс двух типов межмолекулярных взаимодействий: ван-дер-ваальсовых и водородных связей. Для количественного описания ван-дер-ваальсовых сил использовали молекулярную поляризуемость. Способность органических соединений к образованию Н-связей оценивали с помощью Н-акцепторных дескрипторов. Сконструированные статистические модели могут быть использованы для предварительной оценки хронической токсичности органических соединений неспецифического типа действия по отношению к тупоголовому гольяну (*Pimephales promelas*).

Ключевые слова: неспецифическая токсичность, КССА

MODELS OF QUANTITATIVE STRUCTURE – ACTIVITY RELATIONSHIP OF NONSPECIFIC CHRONIC TOXICITY OF ORGANIC COMPOUNDS FOR FISHES

[1]Raevskiy O.A., [1]Raevskaya O.E., [1]Grigorev V.Yu., [1]Razdolskiy A.N., [2]Grigoreva L.D.

[1]Federal State Budgetary Institution of Science «Institute of Physiologically Active Compounds» of Russian Academy of Sciences, Chernogolovka, e-mail: rasd@ipac.ac.ru;

[2]Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow

The work is devoted to QSAR modeling of chronic toxicity of organic compounds in relation to fish. For the study, we used data on chronic toxicity (NOEC) of 29 compounds with respect to fathead minnow (*Pimephales promelas*), as well as acute toxicity values (LC_{50}) for guppy (*Poecilia reticulate*), fathead minnow (*Pimephales promelas*), *rainbow trout* (*Oncorhynchus mykiss*), and for daphnia (*Daphnia magna*), which were taken from our own works and published data. The structure of chemical compounds was described using descriptors, which were calculated using the HYBOT, SLIPPER, and DRAGON computer programs. Statistical modeling was performed based on linear regression analysis. As a result, three regression models were created of chronic toxicity of organic compounds of a nonspecific type of action with respect to fathead minnow using: 1) experimental and calculated values of the distribution coefficient of compounds in the octanol – water system; 2) experimental values of acute toxicity for guppy, fathead minnow, rainbow trout and daphnia magna 3) physico-chemical descriptors. It was established that the QSAR model based on physicochemical descriptors has a clear physical meaning and makes it possible to describe chronic toxicity as a balance of two types of intermolecular interactions: van der Waals and hydrogen bonds. Molecular polarizability was used to quantitatively describe the van der Waals forces. The ability of organic compounds to form H-bonds was evaluated using H-acceptor descriptors. The constructed statistical models can be used for a preliminary assessment of the chronic toxicity of organic compounds of a nonspecific type of action with respect to fathead minnow (*Pimephales promelas*).

Keywords: nonspecific toxicity, QSAR

Ввиду непрерывного расширения ассортимента и объема применяемых органических химических соединений в промышленности, сельском хозяйстве и медицине, приобретает особую значимость оценка токсического их воздействия на окружающую среду и обитающие в ней живые организмы. К сожалению, только небольшая часть уже используемых соединений имеет какие-либо экспериментальные токсикологические характеристики. Это связано со значительной стоимостью таких экспериментальных оценок и необходимостью привлечения

больших количеств живых подопытных объектов. Существенно улучшить сложившуюся ситуацию может проведение систематических исследований количественных взаимосвязей между структурой соединений и их активностью (КССА) с последующим использованием результатов моделирования для расчета токсичности новых веществ.

Среди тест-объектов для оценки токсического воздействия химических соединений на окружающую среду часто используют водные организмы, включая различные бактерии, рыбы, рачки. Подавляющая часть опубликованных обширных КССА исследований с указанными водными организмами в настоящее время связана с острой токсичностью с использованием экспериментальных значений LC50 (концентрации соединений, приводящие к гибели 50% испытываемых организмов в течение установленного периода времени). Одним из направлений работы Отдела компьютерного молекулярного дизайна ИФАВ РАН является КССА моделирование токсичности органических соединений для водных организмов [1–3]. В качестве активности использовались данные по острой токсичности по отношению к рыбам: гуппи (Г) (*Poecilia reticulata*), тупоголовому гольяну (ТГ) (*Pimephales promelas*), радужной форели (РФ) (*Oncorhynchus mykiss*) и рачкам дафнии магна (*Daphnia magna*) (ДМ). В результате этой работы были получены устойчивые прогностические классификационно-регрессионные КССА модели острой токсичности большого ряда органических соединений по отношению к указанным биологическим объектам на основе концепции структурного и физико-химического сходства [1–3]. В случае ДМ сотрудничество с Институтом озероведения РАН привело к обширному КССА исследованию с использованием современных компьютерных технологий на базе собственных экспериментальных данных по острой токсичности для 443 органических соединений [4].

Острая токсичность оценивается как результат воздействия химических соединений на организмы в течение короткого периода времени и является важной характеристикой при экстремальных ситуациях. Не менее важной характеристикой опасности химических соединений для окружающей среды является хроническая токсичность, связанная с длительным воздействием веществ на тестируемый организм. Такие воздействия могут быть вызваны деятельностью химических предприятий и промышленности в целом. Количественная оценка хронической токсичности является намного более длительной и дорогостоящей процедурой по сравнению с острой токсичностью. В качестве количественной меры хронической токсичности обычно используются концентрации соединений, при которых эффект не наблюдается (NOEC, No Observed Effect Concentration).

В настоящее время, как было отмечено в публикациях [5–7], нет стабильных предсказательных КССА моделей хронической токсичности химических соединений для рыб, особенно с использованием ясных физико-химических дескрипторов, а созданная в Агентстве окружающей среды США компьютерная программа ECOSAR [8] оценивает величины NOEC на основе параметра липофильности K_{ow} (коэффициент распределения вещества в системе н-октанол – вода) или фиксированного соотношения LC50/NOEC весьма приближенно.

Цель исследования: настоящее сообщение посвящено КССА моделированию хронической токсичности органических соединений для рыб на основе ряда физико-химических дескрипторов, включая экспериментальные и рассчитанные величины липофильности.

Материалы и методы исследования

В работе использовались данные по хронической токсичности log(NOEC) (NOEC, ммоль/л, время воздействия 21 день) 29 соединений по отношению к тупоголовому гольяну, взятые из работы [9]. Величины острой токсичности log(LC_{50}) (LC_{50}, ммоль/л, 96 час. для гуппи, тупоголового гольяна, радужной форели и LC_{50}, ммоль/л, 24 часа для рачка дафния магна заимствованы из публикаций [1, 4]).

Для описания структуры химических соединений было использовано 5 физико-химических дескрипторов, рассчитанных на основе ряда компьютерных программ: $logP_{slip}$ – десятичный логарифм расчетного коэффициента распределения вещества в системе октанол – вода (Slipper[10]), AlogP – десятичный логарифм расчетного коэффициента распределения вещества в системе октанол – вода (DRAGON[11], методика расчета Ghose – Crippen), MlogP – десятичный логарифм расчетного коэффициента распределения вещества в системе октанол – вода (DRAGON[11], методика расчета Moriguchi), α – молекулярная поляризуемость ($Å^3$) (HYBOT[13]), ∑Ca – сумма H-акцепторных свободноэнергетических дескрипторов (HYBOT [13]). Кроме того, в работе были использованы экспе-

риментальные величины logKow, взятые из статьи [9].

Все статистические расчеты были выполнены с помощью программы SVD [12]. В качестве статистических характеристик в настоящей работе фигурировали: N – число соединений, R^2 – квадрат коэффициента корреляции, R^2_{cv} – квадрат коэффициента корреляции при кросс-валидации с выбором по одному, RMSE-среднеквадратичная ошибка, $RMSE_{cv}$ – среднеквадратичная ошибка при кросс-валидации с выбором по одному, F – критерий Фишера.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из методов оценки хронической токсичности органических соединений является определение её связи с липофильностью. Так, в работе [9] была получена модель зависимости хронической токсичности 19 соединений, составляющих обучающую выборку, от экспериментальных величин липофильности с хорошими статистическими характеристиками. Нами была подтверждена работоспособность этой модели для расширенного ряда из 29 веществ, включая тестовую выборку из 10 соединений:

$$\log(NOEC)_{ТГ} = 0{,}71(\pm0{,}14) - 0{,}913(\pm0{,}046)\ \log Kow_{эксп}, \quad (1)$$

N = 29; R2 = 0,935; R2cv = 0,924;

RMSE = 0,30; RMSEcv = 0,32; F = 388,6.

Статистические критерии уравнения (1) очень хорошие. При этом значение RMSEcv составляет примерно 10% от общего интервала изменения NOEC в изученном ряду соединений. Это свидетельствует об устойчивом характере выявленной корреляции. Вместе с тем эта модель имеет два существенных недостатка. Во-первых, это соотношение не «структура – свойство», а «свойство – свойство», и понять механистическое содержание этой корреляции весьма затруднительно. Во-вторых, в уравнении (1) используется экспериментально определенный параметр K_{ow}. Это означает, что для оценки хронической токсичности нового соединения необходимо его синтезировать, затем измерить величину Kow и после этого использовать уравнение (1) для расчета величины log(NOEC).

Следует отметить, что второй недостаток уравнения (1) достаточно легко устраним. В настоящее время существует целый ряд компьютерных программ, рассчитывающих коэффициенты распределения в системе н-октанол – вода. Уравнения, связывающие эти дескрипторы с хронической токсичностью, представлены ниже:

$$\log(NOEC)\ ТГ = 0{,}78(\pm0{,}21) - 0{,}920(\pm0{,}066)\ \log Pslip, \quad (2)$$

N = 29; R2 = 0,877; R2cv = 0,855;

RMSE = 0,42; RMSEcv = 0,44; F = 159,9,

$$\log(NOEC)\ ТГ = 1{,}01(\pm0{,}17) - 1{,}034(\pm0{,}057)\ MlogP, \quad (3)$$

N = 29; R2 = 0,925; R2cv = 0,915;

RMSE = 0,33; RMSEcv = 0,34; F = 332,3,

$$\log(NOEC)\ ТГ = 0{,}85(\pm0{,}16) - 1{,}065(\pm0{,}058)\ AlogP, \quad (4)$$

N = 29; R2 = 0,927; R2cv = 0,915;

RMSE = 0,32; RMSEcv = 0,34; F = 341,0.

Из полученных данных следует, что в случае использования значений коэффициента распределения октанол – вода, рассчитанных программой SLIPPER, коэффициенты уравнения (2) практически совпадают с коэффициентами уравнения (1). Однако статистические критерии несколько хуже. В уравнениях (3) и (4) коэффициенты несколько отличаются от коэффициентов уравнения (1). При этом статистические критерии уравнений (1), (3) и (4) практически одинаковы. Полученные результаты демонстрируют возможность замены экспериментальных значений липофильности на соответствующие расчетные величины.

Другой способ оценки хронической токсичности химических соединений связан с ее корреляцией с соответствующими данными по острой токсичности. Сопоставление данных публикаций [1] и [9] позволило выявить 20 соединений, имеющих общие данные по острой и хронической токсичности при воздействии на тупоголового гольяна. Соответствующее уравнение приведено ниже:

$$\log(NOEC)ТГ = -1{,}01(\pm0{,}07) + 1{,}051(\pm0{,}063)\ \log(LC_{50})ТГ, \quad (5)$$

N = 20; R2 = 0,939; R2cv = 0,926;

RMSE = 0,27; RMSEcv = 0,29; F = 277,6.

Статистические критерии уравнения (5) лучше по сравнению с уравнениями (1)–(4). А коэффициенты уравнения (5) свидетельствуют о том, что концентрация порога чувствительности хронической токсичности NOEC для тупоголового гольяна примерно в 10 раз ниже концентрации острой токсичности (LC_{50})ТГ.

В работе [1] были установлены хорошие корреляции межвидовой острой токсичности для различных рыб. Поэтому в этой работе мы решили также использовать данные (таблица) не только тупоголового гольяна, но и радужной форели, гуппи и дафнии магна [4].

Результаты корреляции острой токсичности указанных рыбок и рачка дафния магна с хронической токсичностью для тупоголового гольяна приведены ниже:

$$\log(\text{NOEC})\text{ТГ} = -1{,}03(\pm 0{,}08) + 1{,}05\,(\pm 0{,}07)\log(LC_{50})_{\text{Г}}, \quad (6)$$

N = 19; R2 = 0,934; R2cv = 0,920;

RMSE = 0,30; RMSEcv = 0,31; F = 238,7,

$$\log(\text{NOEC})\text{ТГ} = -0{,}37(\pm 0{,}25) + 1{,}10(\pm 0{,}15)\log(LC50)_{\text{РФ}}, \quad (7)$$

N = 9; R2 = 0,888; R2cv = 0,786;

RMSE = 0,30; RMSEcv = 0,36; F = 55,7,

$$\log(\text{NOEC})\text{ТГ} = -1{,}54(\pm 0{,}08) + 0{,}85(\pm 0{,}07)\log(LC_{50})\text{ДМ}, \quad (8)$$

N = 17; R2 = 0,912; R2cv = 0,889;

RMSE = 0,30; RMSEcv = 0,32; F = 157,0.

Статистические характеристики уравнений (5)–(7) имеют близкие значения. При этом угловые коэффициенты практически совпадают. А уменьшение величины свободного члена для радужной форели (уравнение (7)) может быть связано с небольшим объёмом выборки. В случае же корреляции дафнии и тупоголового гольяна можно утверждать наличие существенной разницы в значениях коэффициентов корреляции по сравнению с аналогичными параметрами уравнения для гуппи и тупоголового гольяна (ср. (6) и (8)). Что, очевидно, связано с существенным отличием в строении этого водного организма и рыб.

Следует также отметить, что уравнения (5)–(8) отражают взаимосвязь свойство – свойство, и для их использования необходима оценка экспериментальных значений острой токсичности соединений в отношении рыбок или рачка. Это существенно ограничивает применимость указанных уравнений для практической работы по изучению хронической токсичности.

Разумной альтернативой для КССА моделей «свойство – свойство» являются модели «структура – свойство» с использованием теоретически рассчитываемых дескрипторов для описания структуры. Ранее в работе [1] были получены статистически значимые регрессионные модели между двумя физико-химическими дескрипторами: α и ∑Ca и острой токсичностью ряда органических соединений по отношению к гуппи, тупоголовому гольяну, радужной форели и дафнии магна.

Это послужило основанием в данной работе для установления корреляции хронической токсичности тупоголового гольяна с указанными дескрипторами. Соответствующее уравнение приведено ниже:

$$\log(\text{NOEC})\text{ТК} = 0{,}48(\pm 0{,}21) - 0{,}220(\pm 0{,}010)\alpha + 0{,}89(\pm 0{,}10)\sum\text{Ca}, \quad (9)$$

N = 29; R2 = 0,899; R2cv = 0,823;

RMSE = 0,39; RMSEcv = 0,48; F = 116,2.

Статистические критерии уравнения (9) весьма хорошие, RMSE близко к ошибке экспериментального определения. Достоинством этого уравнения является то, что для его конструирования не требуются экспериментальные значения. Кроме того, возможно обсуждение механистического содержания эффекта хронической токсичности. Коэффициенты при используемых двух физико-химических дескрипторах имеют противоположные знаки. И поскольку сами значения дескрипторов всегда имеют положительное значение, можно утверждать, что эффекты, описываемые этими дескрипторами, компенсируют друг друга. При этом молекулярная поляризуемость, имея отрицательное значение коэффициента, приводит к уменьшению NOEC и к увеличению хронической токсичности. В то время как Н-акцепторная способность органических соединений увеличивает величину NOEC, что уменьшает хроническую токсичность. Представляется, что полученная механистическая модель, основанная на двух дескрипторах, может использоваться для целенаправленного моделирования вкладов указанных взаимодействий с целью получения оптимальных результатов.

Значения физико-химических дескрипторов и токсичности соединений, вызывающих неполярный наркоз

№	Наименование	α	∑Ca	$logK_{ow}$	logP slip	MlogP	AlogP	log(NOEC) ТК	$log(LC_{50})$ Гуппи	$log(LC_{50})$ ТК	$log(LC_{50})$ РФ	$log(LC_{50})$ ДМ
1	Тетрагидрофуран	7,977	1,66	0,46	0,60	0,408	0,511	0,48	1,48	1,48		
2	2-Феноксиэтанол	15,015	2,86	1,16	0,99	1,312	1,274	– 0,43	0,40	0,4		
3	Дихлорметан	6,495	0,30	1,25	1,97	1,364	1,073	– 0,01	0,59	0,59		1,63
4	1,2-Дихлорэтан	8,300	0,78	1,48	1,58	1,817	1,510	– 0,53	0,06	0,14	–0,64	1,39
5	1,1,2-Трихлорэтан	10,228	0,68	1,89	1,97	2,226	1,955	– 1,35	–0,18	–0,21		–0,09
6	1,2-Дихлорпропан	10,135	0,75	1,98	1,99	2,226	1,877	– 1,27	–0,01	0,05		–0,34
7	1,4-Диметоксибензол	14,652	1,89	2,04	2,00	1,580	1,797	– 0,92	–0,07	–0,07		
8	1,1,2,2-Тетрахлорэтан	12,156	0,60	2,39	2,45	2,604	2,399	– 2,08	–0,77	–0,92		–0,45
9	Толуол	12,269	0,53	2,73	2,82	2,608	2,316	– 1,82	–0,13	–0,43	–1,2	0,2
10	Транс-1,2-Дихлорциклогексан	14,866	0,76	3,21	3,37	2,899	2,941	– 2,40		–0,92		
11	Пентахлорэтан	14,084	0,37	3,22	3,28	2,957	2,888	– 2,35	–1,26	–1,43		–0,97
12	Бензиловый эфир	24,401	3,08	3,31	3,03	3,394	3,218	– 2,62				
13	1-Хлор-4-Метилбензол	14,197	0,53	3,33	3,48	3,210	2,981	– 1,57				
14	1,3-Дихлорбензол	14,290	0,32	3,53	3,52	3,478	3,159	– 2,17	–1,28	–1,26		–1,18
15	3,4-Дихлортолуол	16,125	0,42	3,95	3,86	3,795	3,645	– 3,31	–1,60	–1,74		
16	1,2,4-Трихлорбензол	16,218	0,28	4,02	4,02	4,063	3,823	– 2,84	–1,83	–1,78	–2,07	–1,16
17	1,2,3-Трихлорбензол	16,218	0,24	4,05	4,19	4,063	3,823	– 2,86	–1,89		–2,41	–1,4
18	Фенантрен	24,974	1,96	4,46	4,58	4,332	3,647	– 3,97				–2,36
19	1,2,4,6,7,8-Гексагидро-4,6,6,7,8,8-гексаметилциклопента-гамма-2-бензопиран	31,543	2,01	5,30	5,57	4,247	4,311	– 3,58				
20	2-Метокси-2-метилпропан	10,586	1,58	0,94	1,27	1,209	0,982	– 0,15		0,88		
21	4-Метил-2-пентанон	11,938	1,87	1,31	1,48	1,442	1,131	– 0,49		0,72		
22	1,2-Дибромэтан	9,696	0,84	1,96	1,92	2,226	1,801	– 1,08				
23	Бензол	10,434	0,64	2,13	2,42	2,255	1,830	– 1,24	–0,09	–0,65	–0,56	0,73
24	Хлорбензол	12,362	0,55	2,84	2,90	2,876	2,494	– 1,88	–0,77	–0,82	–1,38	–0,77
25	Нафталин	17,704	1,40	3,30	3,41	3,386	2,738	– 2,30		–1,32	–1,46	–1,12
26	1,4-Дихлорбензол	14,290	0,37	3,44	3,49	3,478	3,159	– 2,43	–1,56		–2,12	–1,17
27	Дифенил	20,094	1,32	4,01	4,08	3,876	3,348	– 2,95				–1,66
28	Гексахлорэтан	16,012	0,30	4,14	3,45	3,291	3,376	– 3,07	–2,19	–2,2	–2,45	–1,83
29	1,2,3,4-Гексахлорбензол	18,146	0,25	4,60	4,55	4,634	4,488	– 3,49	–2,35			

П р и м е ч а н и е . В таблице: α – молекулярная поляризуемость (Å^3); ∑Ca – сумма H-акцепторных свободноэнергетических дескрипторов; logKow – экспериментальные величины коэффициента распределения вещества в системе октанол – вода; $logP_{slip}$, AlogP, MlogP – рассчитанные коэффициенты распределения вещества в системе октанол – вода (программы SLIPPER и DRAGON, см. в тексте); $log(NOEC)_{ТК}$ (ммоль/л, время воздействия 21 день) – экспериментальные величины хронической токсичности для тупоголового гольяна; $log(LC_{50})_{Гуппи}$, $log(LC_{50})_{ТК}$, $log(LC_{50})_{РФ}$ (ммоль/л, 96 час) – экспериментальные величины острой токсичности для гуппи, тупоголового гольяна и радужной форели, $log(LC_{50})_{ДМ}$ (ммоль/л, 24 ч) – экспериментальные величины острой токсичности для дафнии магна.

Выводы

Таким образом, в данном исследовании были разработаны КССА модели хронической токсичности органических соединений неспецифического действия на водные организмы, основанные на использовании:

1) экспериментальных значений коэффициента распределения соединений в системе октанол – вода;

2) экспериментальных значений острой токсичности тупоголового гольяна, гуппи, радужной форели и рачка дафния магна;

3) физико-химических дескрипторов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИФАВ РАН 2019 г. (тема № 0090-2019-0004).

Список литературы

1. Raevsky O.A., Grigor'ev V.Yu., Weber E.E., Dearden J.C. Classification and quantification of the toxicity of chemicals to guppy, fathead minnow, and rainbow trout. Part 1. Nonpolar narcosis mode of action. QSAR Comb. Sci. 2008. Vol. 27. P. 1274–1281.

2. Raevsky O.A., Grigor'ev V.Yu., Dearden J.C.,Weber E.E. Classification and quantification of the toxicity of chemicals to guppy, fathead minnow, and rainbow trout. Part 2. Polar narcosis mode of action. QSAR Comb. Sci. 2009. Vol. 28. P. 163–174.

3. Раевский О.А., Григорьев В.Ю., Тихонова О.В. Развитие моделей взаимосвязи структуры и токсического действия химических соединений по отношению к guppy // Хим.-фарм. журн. 2009. Т. 43. С. 3–7.

4. Григорьев В.Ю., Раздольский А.Н., Загребин А.О., Тонкопий В.Д., Раевский О.А. Классификационные QSAR модели острой токсичности органических соединений по отношению к Daphnia Magna // Хим.-фарм. журн. 2014. Т. 48. С. 21–24.

5. Claeys L., Iaccino F., Janssen C.R., Van Sprang P., Verdonck F. Development and validation of a quantitative structure–activity relationship for chronic narcosis to fish // Environ. Toxicol. Chem. 2013. Vol. 32. № 10. P. 2217–2225.

6. May M., Drost W., Germer S., Juffernholz T., Hahn S. Evaluation of acute-to-chronic ratios of fish and Daphnia to predict acceptable no-effect levels. Environ. Sci. Eur. 2016. Vol. 28. № 16. DOI 10.1186/s12302-016-0084-7.

7. Kienzler A., Halder M., Worth A. Waiving chronic fish tests: possible use of acute-to-chronic relationships and interspecies correlations. Toxicol. Environ. Chem. 2017. Vol. 99. № 7–8. P. 1129–1151. DOI: 10.1080/02772248.2016.1246663.

8. Агентство по охране окружающей среды США. [Электронный ресурс]. URL: https://www.epa.gov/oppt/sf/pubs/ecosar.pdf (дата обращения: 22.01.2020).

9. Austin T.J., Eadsforth C.V. Development of a chronic fish toxicity model for predicting sub-lethal NOEC values for non-polar narcotics. SAR QSAR Environ. Res. 2014. Vol. 25. P. 147–160.

10. Раевский О.А., Трепалин С.В., Трепалина Е.П. Программа SLIPPER, Роспатент № 990089 (26.02.1999).

11. Программа DRAGON (http://www.vcclab.org/lab/edragon/) (дата обращения: 22.01.2020).

12. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. М.: Мир, 1980. 280 с.

13. Раевский О.А., Григорьев В.Ю., Трепалин С.В. Программа HYBOT, Роспатент № 990090 (26.02.1999).