

**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

№ 7 2020

Пятилетний импакт-фактор  
РИНЦ = 0,277

Научный журнал  
Scientific journal

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

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

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

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

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

*к.м.н. Н.Ю. Стукова*

**Ответственный секретарь**

*к.м.н. М.Н. Бизенкова*

**EDITOR**

*Natalia Stukova*

**Senior Director and Publisher**

*Maria Bizenkova*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ  
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED  
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

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

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

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

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

**Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,570.**

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

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

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

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

**ISSN 1996-3955**

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

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

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Л.М. Байгузова

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

Подписано в печать 29.07.2020

Дата выхода номера 29.08.2020

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. 11,63

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2020/7

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

## СОДЕРЖАНИЕ

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ БИОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ  
В ВОДОЛАЗНЫХ БАРОКАМЕРАХ

*Яхонтов Б.О.* ..... 7

**ОБЗОРЫ**

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕХОДА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
ИЗ КОРМОВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКУЮ ПРОДУКЦИЮ (ОБЗОР ПОДХОДОВ К РАСЧЁТУ)

*Епимахов В.Г., Епифанова И.Э.* ..... 14

**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ЭКОЛОГО-ЛАНДШАФТНОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ АГРАРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ  
ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

*Мухина Н.В., Суржик М.М., Авраменко А.А., Наумова Т.В., Фалько В.В.* ..... 20

**МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ПРЕДИКТОРЫ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ЖЕЛТУХ У НЕДОНОШЕННЫХ  
НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ

*Боконбаева С.Дж., Зейвальд С.В., Афанасенко Г.П.* ..... 24

ЭТИОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И КЛИНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУДОРОГ  
У НОВОРОЖДЕННЫХ РАЗЛИЧНОГО ГЕСТАЦИОННОГО ВОЗРАСТА

*Гурбанова Г.М., Мамедбейли А.К., Рагимова Н.Д.* ..... 29

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДБОРОДОЧНОГО ИМПЛАНТАТА  
ПРИ КОРРЕКЦИИ ОККЛЮЗИИ III КЛАССА ПО ЭНГЛЮ

*Ешиев Д.А., Ешиев А.М.* ..... 35

ВЗАИМОСВЯЗЬ АКТИВНОСТИ ЭКСПРЕССИИ АТИПИЧЕСКИХ ИЗОФОРМ  
ПРОТЕИНКИНАЗЫ С С МЕТИЛИРОВАНИЕМ ПРОМОТЕРА ГЕНА MGMT  
И КО-ДЕЛЕЦИЕЙ 1P/19Q В ДИФФУЗНЫХ ГЛИОМАХ

*Никитин П.В., Рыжова М.В., Галстян С.А., Хохлова Е.А.* ..... 40

ОСНОВНОЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ ОСТЕОМИЕЛИТА – ЗОЛОТИСТЫЙ СТАФИЛОКОКК  
И ЕГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

*Плиска Н.Н.* ..... 45

РОЛЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БОЛЕЗНЕЙ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ  
В УСЛОВИЯХ COVID-19: ГИСТОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТИНА ЗДОРОВЫХ  
И СТРЕСС-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЛЕГКИХ

*Хамчиев К.М., Исаева З.К., Сулейменова Ф.М., Сагимова Г.К., Адайбаев К.Т.* ..... 50

**ОБЗОРЫ**

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ  
ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

*Бойко А.Е., Кокушин Д.Н., Баиндурашвили А.Г., Виссарионов С.В., Мульдьяров В.П.* ..... 57

---

**ГЕРПЕТИЧЕСКАЯ ИНФЕКЦИЯ ВО ВРЕМЯ БЕРЕМЕННОСТИ**

*Петров Ю.А., Купина А.Д., Шаталов А.Е.* ..... 62

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕКОТОРЫХ ЛЕСНЫХ ЯГОД  
И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В ПРОИЗВОДСТВЕ НАПИТКОВ

*Гадимова Н.С.* ..... 67

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОБОГРЕВА И ГОРЯЧЕГО  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ КЫРГЫЗСТАНА

*Шатманов О.Т., Исманов Ю.Х., Айдаралиев Ж.К., Исакова Ж.А.* ..... 72

**ОБЗОРЫ**

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ  
И ОБЛИЦОВОЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Павлычева Е.А., Пикалов Е.С.* ..... 76

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

АНИМАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ ПУТНИКА ОРЕМА – РИМАНА СРЕДСТВАМИ 3D-ГРАФИКИ

*Навагина Н.Д., Сеничева Т.А., Балонин Н.А., Сергеев М.Б.* ..... 88

---

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

PRINCIPLES OF MEASURING BIOPHYSICAL PARAMETERS OF THE ENVIRONMENT  
IN DIVING PRESSURE CHAMBERS

*Yakhontov B.O.* ..... 7

**REVIEWS**

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE TRANSFER COEFFICIENT OF HEAVY METALS  
FROM FEED TO LIVESTOCK PRODUCTS (A REVIEW OF CALCULATION APPROACHES)

*Epimakhov V.G., Epifanova I.E.* ..... 14

**GEOGRAPHICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

ECOLOGICAL-LANDSCAPE CONDITION OF LANDS OF AGRARIAN ENTERPRISES  
OF THE SOUTH OF THE FAR EAST

*Mukhina N.V., Surzhik M.M., Avramenko A.A., Naumova T.V., Falco V.V.* ..... 20

**MEDICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

PREDICTORS OF PATHOLOGICAL JAUNDICE IN PREMATURE NEWBORN CHILDREN

*Bokonbaeva S.Dzh., Zeyvald S.V., Afanasenko G.P.* ..... 24

ETHIOLOGICAL STRUCTURE AND CLINICAL FEATURES OF SEIZURES  
IN NEWBORNS OF VARIOUS GESTATIONAL AGE

*Gurbanova G.M., Mammadbayli A.K., Rahimova N.J.* ..... 29

USE OF CHINDOUT IMPLANT IN CORRECTION OF OCCLUSION OF ENGE CLASS III

*Eshiev D.A., Eshiev A.M.* ..... 35

CORRELATION BETWEEN THE EXPRESSION ACTIVITY OF ATYPICAL  
PROTEIN KINASE C ISOFORMS WITH METHYLATION OF THE MGMT  
GENE PROMOTER AND CO-DELETION OF 1P/19Q IN DIFFUSE GLIOMAS

*Nikitin P.V., Ryzhova M.V., Galstyan S.A., Khokhlova E.A.* ..... 40

THE MAIN CAUSATIVE AGENT OF OSTEOMYELITIS IS STAPHYLOCOCCUS  
AUREUS AND ITS SENSITIVITY

*Pliaka N.N.* ..... 45

ROLE OF BIOLOGICAL MODELING OF RESPIRATORY DISEASES  
IN COVID-19 CONDITIONS: HISTOLOGICAL PICTURE OF HEALTHY  
AND STRESS-INDUCED LUNGS

*Khamchiev K.M., Isaeva Z.K., Suleymenova F.M., Sagimova G.K., Adaybaev K.T.* ..... 50

**REVIEWS**

SURGICAL TREATMENT OF CHILDREN WITH CONGENITAL DEFORMITIES  
OF THE THORACIC AND LUMBAR SPINE USING 3D PROTOTYPING TECHNOLOGIES

*Boyko A.E., Kokushin D.N., Baidurashvili A.G., Vissarionov S.V., Muldiyarov V.P.* ..... 57

HERPETIC INFECTION DURING PREGNANCY

*Petrov Yu.A., Kupina A.D., Shatalov A.E.* ..... 62

---

**TECHNICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

RESEARCH OF QUALITATIVE INDICATORS OF SOME FOREST BERRIES  
AND THEIR APPLICATION IN PRODUCTION OF DRINKS

*Gadimova N.S.* ..... 67

USE OF HEAT PUMPS FOR HEATING AND HOT WATER SUPPLY IN THE CONDITIONS  
OF THE HIGHLANDS OF KYRGYZSTAN

*Shatmanov O.T., Ismanov Yu.Kh., Aydaraliev Zh.K., Isakova Zh.A.* ..... 72

**REVIEWS**

MODERN ENERGY-EFFICIENT STRUCTURAL AND FACING BUILDING MATERIALS

*Pavlycheva E.A., Pikalov E.S.* ..... 76

---

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

ANIMATION OF OREM-RIEMANN TRAVELER TRAJECTORIES USING 3D-Graphics

*Navagina N.D., Senicheva T.A., Balonin N.A., Sergeev M.B.* ..... 88

СТАТЬИ

УДК 626.02:612.274:54.08

**ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ БИОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ  
В ВОДОЛАЗНЫХ БАРОКАМЕРАХ**

**Яхонтов Б.О.**

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

По результатам исследований, испытаний и научного использования средств измерения биофизических параметров гипербарической среды дана оценка пригодности и эффективности принципов газового анализа и измерения температуры и влажности в водолазных и исследовательских барокамерах. Пригодность этих принципов определяется устойчивостью измерительных средств к механическому действию высокого давления и возможностью получения корректных результатов. Для анализа дыхательных газов и газов крови ( $O_2$  и  $CO_2$ ) непосредственно в условиях высокого давления в барокамере наиболее пригодным, особенно для кислорода, является электрохимический принцип анализа. Его достоинство состоит в том, что датчик не подвержен деформации давлением и его чувствительность повышается в прямой зависимости от давления, что позволяет сохранять точность определения показателей дыхательного газообмена в условиях гипербарии. Анализ кислорода в газовой смеси, поступающей из барокамеры на анализ при нормальном давлении, дает корректные результаты при использовании парамагнитного и циркониевого датчиков, анализ  $CO_2$  и некоторых вредных примесей – инфракрасного. При газоанализе поверочные смеси должны быть максимально близкими по составу и величинам компонентов к анализируемым. Из методов измерения температуры в условиях гипербарии наиболее пригодным, отличающимся точностью, стабильностью работы и надежностью, является измерение температуры платиновым термометром сопротивления. Для измерения абсолютной и относительной влажности в барокамере всем требованиям отвечает принцип, основанный на определении температуры точки росы. Гигрометрический датчик зеркального типа, работающий на этом принципе, полностью сохраняет работоспособность на имитированных глубинах до 1000 м.

**Ключевые слова:** барокамера, гипербария, водолаз, дыхательная среда, принципы газоанализа, температура среды, влажность

**PRINCIPLES OF MEASURING BIOPHYSICAL PARAMETERS  
OF THE ENVIRONMENT IN DIVING PRESSURE CHAMBERS**

**Yakhontov B.O.**

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

Based on the results of research, testing and scientific use of tools for measuring biophysical parameters of hyperbaric environment, the suitability and effectiveness of the principles of gas analysis and measurement of temperature and humidity in diving and research pressure chambers are evaluated. The suitability of these principles is determined by the sustainability of measuring instruments to the mechanical action of high pressure and the possibility of obtaining correct results. For the analysis of respiratory gases and blood gases ( $O_2$  and  $CO_2$ ) directly under high pressure in the pressure chamber, the most suitable, especially for oxygen, is the electrochemical principle of analysis. Its advantage is that the sensor is not subject to pressure deformation, and its sensitivity increases in direct dependence on the pressure, which allows you to maintain the accuracy of determining the indicators of respiratory gas exchange in hyperbaric conditions. Analysis of oxygen in the gas mixture coming from the pressure chamber for analysis at normal pressure gives correct results when using paramagnetic and zirconium sensors. For the analysis of  $CO_2$  and some harmful impurities – infrared. During gas analysis, the calibration mixtures should be as close as possible in composition and values of the components to the analyzed ones. Of the methods for measuring temperature in hyperbaric conditions, the most suitable, characterized by accuracy, stability and reliability, is the measurement of temperature with a platinum resistance thermometer. For measuring absolute and relative humidity in the pressure chamber, the principle based on determining the dew point temperature meets all the requirements. A mirror-type hygrometer sensor based on this principle remains fully operational at simulated depths of up to 1000 meters.

**Keywords:** hyperbaric chamber, hyperbaria, diver, respiratory environment, principles of gas analysis, ambient temperature, humidity

Изучение и освоение человеком морских глубин связано с использованием водолазных методов работы под водой. Наиболее эффективным является метод длительного пребывания (ДП) под повышенным давлением [1], который реализуется многосуточным (до 4–5 недель в зависимости от глубины) пребыванием в жилых барокамерах судового или берегового водолазных комплексов, в которых по фактору давления имитируются глу-

бины. Жизнедеятельность водолазов при этом поддерживается системой жизнеобеспечения (СЖО). Одной из составных частей этой системы является подсистема измерения биофизических параметров гипербарической среды в отсеках барокамер. Высокие физиолого-технические требования к этим системам обусловлены необходимостью обеспечения безопасности погружений, сохранения здоровья и работоспособности человека [2].

К основным параметрам искусственной гипербарической среды в барокамере относятся: давление ( $P$ , кгс/см<sup>2</sup>), температура ( $t$ , °C), относительная влажность (RH, %), газовый состав ( $O_2$ , He,  $N_2$ ) и подвижность газовой среды, которые влияют на физиологические функции организма. В комплексе эти параметры формируют микроклимат в барокамере и регулируются подсистемой измерения и поддержания этих параметров на заданном уровне [3]. С повышением давления в барокамере допустимые величины концентраций дыхательных газов (кислорода и двуокиси углерода) и вредных примесей, в основном эндогенного происхождения, уменьшаются пропорционально повышению общего давления для сохранения их парциальных давлений на относительно нормальном уровне.

Все эффекты влияния измененной гипербарической газовой среды на организм требуют постоянного и точного газового анализа и измерения физических параметров, так как физиологическое значение измеряемой единицы каждого параметра возрастает с повышением давления в отсеках барокамер. При этом принципы и методы измерений биофизических параметров должны быть адекватными специфическим условиям в барокамере.

Целью данной работы является оценка пригодности и эффективности принципов и методов измерения биофизических параметров среды в барокамерах при давлениях, имитирующих глубины водолазных погружений, для обеспечения безопасности пребывания и работы в условиях гипербарии.

Методы исследования – экспериментальные и теоретические; анализ данных, полученных в экспериментах, при испытаниях и научном использовании средств анализа дыхательных газов и измерения физических параметров среды (давления, температуры, влажности), предназначенных для систем жизнеобеспечения водолазных комплексов и исследовательских барокамер; обобщение опыта исследований принципов и методов измерения биофизических параметров в условиях различных давлений в барокамерах с использованием отечественных и зарубежных разработок.

Результаты работы показали, что далеко не все существующие принципы, методы и способы приемлемы для газового анализа дыхательной среды и измерения физических параметров в барокамерах. Дело в том, что к средствам измерения параметров гипербарической среды предъявляются повышенные требования к их погрешности, чувствительности, стабильности показаний, инерционности датчиков, надежности. Это

при том, что анализируемая искусственная дыхательная смесь, как правило, многокомпонентная, с возможными примесями, которые в ряде случаев могут отрицательно влиять на результат газоанализа при использовании неадекватных условиям методов.

В идеале все измерения биофизических параметров должны бы выполняться при рабочем давлении в барокамере, что предполагает сохранение работоспособности прибора (по крайней мере датчика измеряемого параметра) под повышенным давлением. Альтернативный, хотя и не вполне равноценный, вариант – газовый анализ редуцированной (выпущенной из барокамеры через регулирующий вентиль) смеси при нормальном давлении. Такой способ газового анализа приемлем для контроля среды и в исследовательских целях для расчета показателей дыхательного газообмена до давлений порядка 11 кгс/см<sup>2</sup>, что соответствует глубине 100 м. При больших давлениях применять его следует, используя специальную схему калибровок анализатора минимум по двум точкам и систему подвода анализируемой смеси на участке выпускной вентиль – ячейка датчика. Главное – поверочные смеси должны подаваться на анализатор из барокамеры и быть максимально близкими по составу и величинам компонентов к анализируемым.

Сравнительные исследования способов анализа  $O_2$  и  $CO_2$  показали, что при анализе этих газов в редуцированной смеси их содержание немного занижается: кислорода – в среднем на 0,03 об. % (2,4 мм рт. ст.) на глубине 100 м при работе с гелиевыми смесями в зависимости в основном от гомогенизации дыхательной газовой среды (ДГС) в камере, колебаний температуры и некоторых других факторов [4]. Однако для контроля ДГС, в отличие от расчетов показателей дыхательного газообмена, это особого значения не имеет.

Дыхательная среда в барокамере для длительного пребывания всегда формируется таким образом, чтобы парциальное давление кислорода ( $PO_2$ ) оставалось близким к нормальному во избежание кислородной интоксикации [5]. Для этого процентное содержание кислорода в дыхательной среде должно снижаться пропорционально повышению давления. В результате нормоксическая среда в барокамере на «глубине» 100 м должна иметь не 20,93 об. % кислорода, а 1,971, на 200 м – 1,034, на 300 м – 0,701 об. %  $O_2$ , что соответствует  $PO_2$  на уровне 160 мм рт. ст. Понятно, что величины процентного содержания  $CO_2$  в выдыхаемом и альвеолярном газе в этих условиях

уменьшаются в той же зависимости от давления, но с индивидуальными различиями. Таким образом, для получения корректных результатов чувствительность и разрешение анализаторов  $O_2$  и  $CO_2$  в составе барокамерной СЖО и исследовательского приборного комплекса должны быть в разы выше, а погрешность ниже, чем анализаторов, предназначенных для работы в обычных условиях. Это особенно важно при газоанализе в исследовательских целях, так как абсолютная ошибка в показаниях анализатора по любым причинам, равная, например, 0,02 об. % уже на глубине 100 м, приводит к ошибке в расчетах потребления организмом  $O_2$  и выделения  $CO_2$  в состоянии покоя порядка 5–7%. На больших глубинах даже меньшая ошибка в показаниях прибора имеет большое значение.

Сравнительный анализ результатов исследований показал, что из многообразия физико-химических принципов и методов газового анализа наиболее пригодными для работы по проблемам влияния на функции организма гипербарической среды являются немногие, отвечающие повышенным требованиям. Для анализа кислорода в барокамерах водолазных комплексов применяются парамагнитные и электрохимические принципы, для анализа двуокиси углерода и характерных для барокамерной среды вредных микропримесей – инфракрасные и электрохимические, для дискретного анализа практически любых газов среды в барокамерах – хроматографический и масспектрометрический методы, которые используются в основном в исследовательских целях и как контрольные для ДГС.

Принцип действия парамагнитных анализаторов кислорода основан на измерении парамагнитной восприимчивости кислорода, которая в десятки раз выше, чем у большинства других газов. Особенно велика разница по сравнению с гелием, который является основной составляющей дыхательных газовых смесей при глубоководных погружениях. Поэтому парамагнитный принцип служит наиболее адекватным для анализа кислорода в кислородно-азот-

но-гелиевых средах. Достоинство этого метода состоит в том, что концентрация кислорода отражается на магнитной восприимчивости газовой смеси независимо (за небольшим исключением) от содержания в ней других компонентов. Это позволяет использовать магнитные свойства кислорода для измерения его концентрации и в многокомпонентных газовых смесях. Конструктивно парамагнитный анализатор может быть изготовлен так, что датчик является отдельным от анализатора блоком, который может быть установлен в барокамере и соединен с электронным блоком через гермоввод (герморазъем). Но это возможно лишь при полной компенсации колебаний давления и температуры, поскольку эти параметры влияют на объемную магнитную восприимчивость кислорода, но соблюсти это в условиях повышенного давления в барокамере непросто.

Проблему для анализа кислорода в принципе может представлять наличие в смеси примесей оксидов азота ( $NO$  и  $NO_2$ ), поскольку эти газы обладают магнитными свойствами, но их магнитная восприимчивость в несколько раз ниже кислородной. При использовании для дыхания в барокамере газовых смесей, приготовленных на основе чистых газов из баллонов, что характерно для глубоководных погружений методом ДП, такой проблемы практически нет. Следовые величины оксидов азота в ДГС возможны за счет эндогенной продукции [6], но их влияние на анализ кислорода при нормальном давлении незаметно.

Наиболее пригодным для анализа кислорода при научных исследованиях, включая анализ газов крови, является электрохимический метод полярографического измерения  $PO_2$  в среде высокого давления. В этих экстремальных условиях работоспособность датчика не нарушается при всех используемых при водолазных погружениях уровнях давления в барокамере. Независимо от конструктивного решения такой датчик кислорода состоит из четырех элементов – катода, анода, электролита и мембраны (рис. 1).

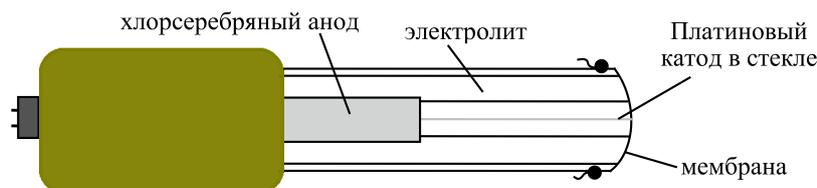
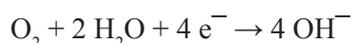
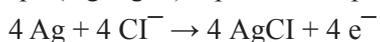


Рис. 1. Принципиальная схема полярографического датчика кислорода

Катод соприкасается с мембраной через прослойку электролита (насыщенный раствор KCl). На электрод подается постоянное напряжение для поляризации катода. Через полипропиленовую или тефлоновую мембрану находящийся в газовой смеси кислород диффундирует в электролит. При появлении в электролите кислорода генерируется ток, величина которого прямо пропорциональна парциальному давлению кислорода. Появление тока является результатом реакции восстановления кислорода на катоде:



Если анод состоит из серебра/хлористого серебра (Ag/AgCl), происходит реакция:



Из этого уравнения видно, что при работе такой электродной системы имеет место расход анода, особенно в режиме непрерывного измерения при нормальном давлении высоких концентраций  $\text{O}_2$ . Это ограничивает срок службы датчика. В условиях гипербарии анод расходуется в той же зависимости от  $\text{PO}_2$ , но уровень гипероксии в среде барокамеры при длительном пребывании невысок, чтобы еще больше сократить срок службы датчика.

Такие датчики отличаются высокой чувствительностью к изменению температуры. При снижении или повышении температуры на  $1^\circ\text{C}$  регистрируемые величины  $\text{PO}_2$  изменяются на 6–7%. Поэтому при научных исследованиях для анализа кислорода в крови и выдыхаемом газе в барокамеру помещается термостатный блок с датчиком, управляемый электронным блоком, находящимся вне камеры. Для анализа кислорода в дыхательной среде достаточна электронная компенсация температурных влияний с помощью терморезистора, который монтируется в корпусе электрохимической ячейки.

Известна важная особенность электрохимических датчиков – при калибровке кислородно-азотной смесью и последующем анализе кислородно-гелиевой смеси показания кислорода значительно завышаются [7], что может представлять опасность, если это не учитывать.

Практика работы с полярографическими датчиками кислорода в барокамере при давлениях в диапазоне до 300 м вод. ст. в течение месяца показала, что при правильной подготовке датчика к работе в камере и его калибровке по специальной схеме он работает в условиях повышенного, но стабильного давления даже лучше, чем при нормальном давлении. Это обусловлено тем,

что содержащиеся в электролите и на границе мембрана – электролит микропузырьки газа при компрессии сдавливаются, что положительно влияет на качество анализа. Однако обратное происходит при декомпрессии. Остановить процесс образования пузырьков при снижении давления в камере невозможно, за исключением периодов изопрессии, т.е. на декомпрессионных остановках [4]. В некоторых конструкциях датчика для компенсации перепадов давления на его корпусе монтируется специальная гибкая мембрана, но она предотвращает лишь возможную его деформацию и не влияет на работу датчика и качество анализа. Практика показала, что для надежной работы полярографического датчика в барокамере необходимы частые калибровки и замена электролита, что обусловлено изменениями его концентрации в связи с возможным испарением на катодном конце электрода и протечками на уровне мембраны.

Приемлемым для анализа кислорода является и принцип детектирования кислорода керамическим элементом из оксида циркония. Такие датчики отличаются высокой скоростью реакции (до 100 мсек), стабильностью показаний, исключая частые калибровки, большим сроком службы в связи с полным отсутствием подвижных частей.

При высокой температуре окислительный элемент ведет себя как твердый электролит, в цепи которого возникает электродвижущая сила, регистрируемая как напряжение в соответствии с законом Нернста:

$$E = 2,3 \text{ RT}/4\text{F} \text{ Log}_{10} \text{ PmO}_2/\text{PrO}_2 + C,$$

где R – газовая постоянная для чистых газов;

T – абсолютная температура;

F – постоянная Фарадея;

$\text{PmO}_2$  – парциальное давление  $\text{O}_2$  в анализируемой смеси;

$\text{PrO}_2$  – парциальное давление  $\text{O}_2$  в сравнительном газе (окружающей атмосфере);

C – константа измерительной ячейки для данного потока газа.

Если анализ кислорода выполняется при нормальном давлении, сравнительным газом является воздух, в котором содержание кислорода, равное 20,93 об. %, принимается за условный ноль. Диапазон рабочих температур при таком методе анализа может составлять до  $700\text{--}800^\circ\text{C}$ , что практически исключает возможность использования такого анализатора в барокамере под давлением. Но это не снижает его достоинств при работе в условиях нормобарии, поскольку его высокая чувствительность и стабильность показаний позволяют работать практически в любом для барокамерных условий диапазоне измерений.

Из уравнения Нернста видно, что сигнал (напряжение) от измерительной ячейки является логарифмическим, он обратно пропорционален содержанию кислорода в смеси. Поэтому оказывается, что чувствительность анализатора тем выше, чем меньше содержание кислорода в смеси, что позволяет сохранять одну и ту же погрешность в относительных величинах по всей измерительной шкале. С помощью антилогарифмического модуля прибора сигнал преобразуется в линейный, что упрощает считывание результатов анализа.

Принимая во внимание высокую рабочую температуру и материал электрода (платина), при наличии в анализируемой смеси окисляющихся горючих газов ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ) результаты анализа не будут полностью соответствовать истине. Но такие примеси, включая их эндогенную долю, в искусственной газовой среде жилой барокамеры бывают на уровне ppm или долей ppm в зависимости от давления (глубины), так как они удаляются непрерывно работающей системой очистки ДГС. К тому же эти примеси извлекаются специальными очистителями на этапе подготовки пробы к анализу.

Таким образом, все основные принципы анализа кислорода имеют преимущества и недостатки, включая парамагнитные, циркониевые и электрохимические [8, 9].

Парциальное давление двуокиси углерода в условиях гипербарии может быть измерено с помощью электрохимического и инфракрасного датчиков. В первом случае  $PCO_2$  измеряется косвенно, через изменения pH электролита в измерительной ячейке.  $CO_2$  из окружающей среды диффундирует через мембрану в электролит, pH электролита изменяется, потенциал между стеклянным и сравнительным электродами датчика изменяется пропорционально логарифму  $PCO_2$  в анализируемой газовой смеси в барокамере.

Зависимость изменений pH и  $PCO_2$  описывается уравнением Гендерсона-Гессельбаха:

$$pH = pK + \text{Log} [HCO_3^-] / a \times PCO_2,$$

где pK – константа диссоциации угольной кислоты;

$[HCO_3^-]$  – концентрация  $HCO_3^-$ ;

a – коэффициент растворимости  $CO_2$  в электролите.

Из уравнения следует, что уменьшение pH электролита на 1 условную единицу приводит к увеличению  $PCO_2$  на 10 единиц.

Такой принцип анализа вполне пригоден для работы в условиях повышенного давления. Этот принцип реализован в конструкции классического  $PCO_2$ -электрода

Северингхауса, который обычно используется в анализаторах газов крови. Такой электрод имеет две мембраны, из которых внутренняя сеточная обеспечивает прослойку электролита между стеклянным pH-электродом и наружной мембраной, что улучшает условия диффузии  $CO_2$  через pH чувствительное стекло на мембранном конце стеклянного электрода. Измерительный блок анализатора располагается вне барокамеры, а сигнал от датчика передается по коаксиальному кабелю на регистратор через специальный гермоввод. Но такой электрод лучше, конечно, использовать в исследовательских целях для анализа  $PCO_2$  в крови и в выдыхаемом газе в комплексе с полярографическим электродом  $PO_2$ .

Наилучшим принципом анализа  $CO_2$  для контроля ДГС и при гипербарических научных исследованиях является поглощение инфракрасного (ИК) излучения двуокисью углерода. Он имеет преимущество по главным показателям: высокая чувствительность – до 0,1 ppm, время реакции измерительной ячейки – до 1 сек, погрешность анализа – до  $\pm 1\%$ . Кроме того, ИК-датчик в принципе может работать в условиях гипербарии, так как сравнительная ячейка и камеры приемника ИК-излучения герметичны. Они изготавливаются обычно из металла, имеют большую массу и поэтому могут выдерживать значительное давление. Оптические окна из монокристалла также не являются проблемой при воздействии внешнего давления. Однако ИК-анализаторы в условиях относительно высокого давления не испытывались. Но при анализе редуцированных смесей ИК-анализаторы являются наиболее подходящими для непрерывного и периодического контроля  $CO_2$  и вредных примесей – окиси углерода (CO) и углеводородов (HC). Для анализа углеводородов оптимальным является и метод ионизации газа пламенем, для анализа окислов азота (NO/NOx) – хемилюминесцентный метод.

Не менее важными биофизическими параметрами среды в барокамере, требующими контроля и поддержания на заданном уровне, являются температура и влажность.

Проверка и сравнительный анализ различных методов измерения температуры в условиях гипербарии показали, что наиболее пригодным и надежным является измерение температуры платиновым термометром сопротивления. Чувствительный термоэлемент представляет собой витую платиновую проволоку, замурованную в стекле в виде тонкого стержня, который помещается в металлической гильзе, заполняемой герметиком с добавлением окиси

алюминия для повышения теплопроводности. Единственным недостатком такого датчика является его значительная инерционность (не менее 1 минуты), обусловленная материалами изоляции чувствительного элемента. Изготовленный таким образом датчик температуры, как показали испытания, сохраняет работоспособность при давлениях в диапазоне до 100 кгс/см<sup>2</sup>. Сигнал передается по кабелю через гермоввод, показания регистрируются цифровым индикатором с разрешением 0,01 °С.

Существующие методы измерения влажности окружающей среды не всегда и не полностью отвечают требованиям применительно к условиям гипербарии. Это связано со специфическим действием на датчик влажности многих факторов. Наиболее приемлемыми для работы под повышенным давлением в барокамере являются методы: психрометрический, точки росы, сорбционный, электролитический датчик влажности.

Психрометрический метод измерения влажности при использовании стандартных таблиц расчета результатов в гипербарической среде немного завышает величины влажности, что исключает возможность использования этого метода при больших давлениях в барокамере. В таких условиях более пригодными являются электролитические датчики. Но и это не лучший по ряду причин метод, но вполне подходящий для измерения относительной влажности под давлением, эквивалентным глубинам примерно до 300 м.

Метод измерения влажности по температуре точки росы по всем параметрам пригоден для работы в барокамере. Испытания гигрометрического датчика зеркального типа в барокамере в диапазоне давлений,

соответствующих глубинам до 1000 м, показали, что он полностью сохраняет свою работоспособность. Принцип его работы заключается в том, что источник света (светодиод) в красном спектре направлен на зеркало, которое находится в термоконтакте с электропреобразователем Пельтье. Когда температура зеркала достигает точки росы, на его поверхности образуется конденсат, вследствие чего отраженный свет, воспринимаемый фотодетектором, ослабевает, и происходит уменьшение фотосигнала. При повышении температуры зеркала происходят испарение влаги и увеличение сигнала. Вмонтированный в зеркало платиновый термометр сопротивления регистрирует температуру точки росы, которая в барокамере повышается в зависимости от давления [10] и может легко корректироваться по табличным и диаграммным данным. По точке росы определяется абсолютная и относительная влажность.

Для обеспечения полного цикла газоанализа и контроля параметров среды необходимо наличие комплекса аппаратуры и оборудования, таких как анализаторы газов, средства подготовки смеси для анализа, оборудование для приготовления калибровочных газовых смесей, их сбора и хранения, компьютеры для обработки результатов анализа и управления средой. Основное требование к комплексу – он должен сохранять свои технические и эксплуатационные характеристики в течение всего времени работы в барокамере.

На рис. 2 представлена принципиальная блок-схема системы, которая совместно с Г.И. Куренковым разработана для контроля среды в исследовательской водолазной барокамере.

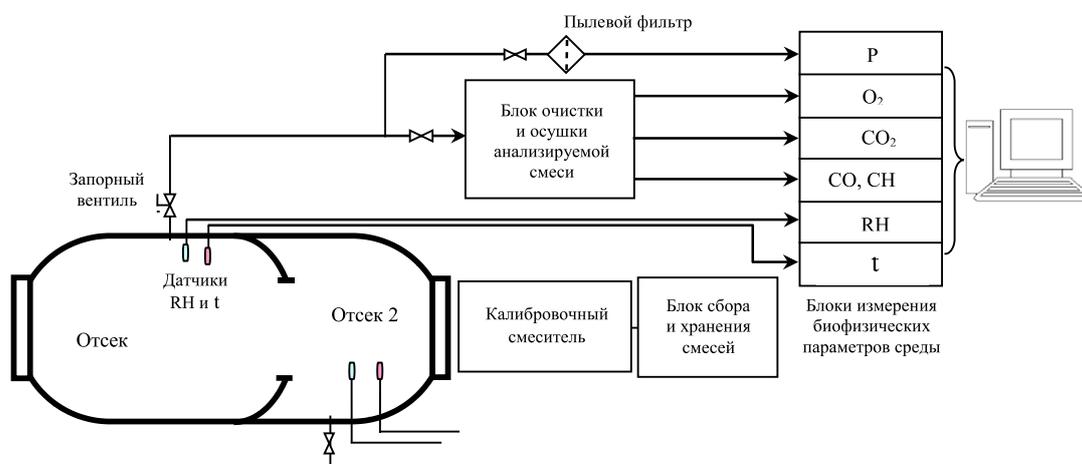


Рис. 2. Принципиальная блок-схема системы газоанализа и измерения биофизических параметров среды в отсеках барокамеры (для отсека 2 блок-схема аналогичная)

Независимо от способа газоанализа (под давлением в барокамере или в редуцированной смеси) схема подачи смеси на анализатор не меняется. Разница состоит лишь в том, что в первом случае при непрерывном газоанализе блок очистки и осушки смеси и датчики газов заключены в специальные боксы, которые монтируются в аппаратных стойках и выдерживают то же рабочее давление, что и в барокамере. Они снабжены побудителем потока смеси через измерительные ячейки датчиков с возвратом ее в камеру. При анализе редуцированной смеси небольшое падение давления в отсеках барокамеры компенсируется общей системой поддержания давления в составе СЖО.

Анализируемая газовая смесь поступает из барокамеры в блоки очистки и осушки. Обработанная для анализа смесь по отдельным пробоотборным линиям подается на анализаторные блоки, входящие в состав приборных стоек, количество которых должно соответствовать количеству отсеков в барокамере гипербарического комплекса.

Система газоанализа комплектуется смесителем для приготовления калибровочных смесей с блоком сбора и хранения смесей в специальных баллонах.

Аналоговые сигналы от контрольно-измерительных приборов поступают на компьютер для обработки информации и управления режимами работы всего оборудования.

### Заключение

Результаты исследований, испытаний и научного использования средств измерения биофизических параметров гипербарической среды показали, что пригодность принципов и методов измерения этих параметров определяется устойчивостью измерительных средств к механическому действию высокого давления и возможностью получения корректных результатов в искусственной газовой среде.

Для анализа дыхательных газов и газов крови ( $O_2$  и  $CO_2$ ) в условиях высокого давления в барокамере наиболее пригодным, особенно для кислорода, является электрохимический принцип анализа. Его достоинство состоит в том, что датчик не подвержен деформации давлением и его чувствительность повышается в прямой зависимости от давления, что позволяет сохранять точность определения показателей дыхательного газообмена в условиях гипербарии.

Анализ кислорода в газовой смеси, поступающей из барокамеры на анализ при нормальном давлении, дает корректные результаты при использовании парамагнитного и циркониевого датчиков, анализ  $CO_{2H}$  характерных для барокамерной среды вредных примесей – инфракрасного. При

давлениях, имитирующих глубины свыше примерно 100 м, применять способ анализа газов в редуцированной смеси следует, используя специальную схему калибровки анализатора. При любом способе газоанализа поверочные смеси должны быть максимально близкими по составу и величинам компонентов к анализируемым.

Сравнительный анализ различных методов измерения температуры в условиях гипербарии показал, что наиболее пригодным, отличающимся точностью, стабильностью работы и надежностью, является измерение температуры газовой среды платиновым термометром сопротивления.

Для измерения абсолютной и относительной влажности в барокамере всем требованиям отвечает принцип, основанный на определении температуры точки росы. Гигрометрический датчик зеркального типа, работающий на этом принципе, полностью сохраняет работоспособность при давлениях, соответствующих глубинам до 1000 м.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2020-0012).*

### Список литературы

1. Чумаков А.В., Мотасов Г.П., Неустроев А.П., Тюрин В.И., Мясникова А.А., Свистов А.С., Бардышева О.Ф., Мордовин И.С., Торшин Г.С., Реймов Д.В., Алпатов В.П. Метод длительного пребывания под повышенным давлением: история развития, направления исследований, перспективы применения // Экология человека. 2010. № 2. С. 17–21.
2. Соколов Г.М., Суворов А.В., Павлов Б.Н. Роль отечественных врачей и биологов в развитии водолазного дела // Освоение морских глубин / гл. редактор Н. Спасский. М.: Издат. дом «Оружие и технологии», 2018. С. 457–467.
3. Яхонтов Б.О. Физиологические аспекты обеспечения жизнедеятельности водолазов при повышенном давлении в барокамере // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 6. С. 135–139.
4. Яхонтов Б.О., Рогинский К.А. Особенности анализа дыхательных газовых смесей на основе гелия при повышенном давлении в барокамере // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 8. Вып. 3. С. 421–425.
5. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н., Демчишин М.Д. Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение. М.: Слово, 2004. Т. 2. 723 с.
6. Кузнецова В.Л., Соловьева А.Г. Оксид азота: свойства, биологическая роль, механизмы действия // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21037> (дата обращения 22.06.2020).
7. Drager safety – Методическое руководство. Дефицит кислорода в закрытых помещениях (утечки гелия). [Электронный ресурс]. URL: <https://studylib.ru/doc/2393166/deficit-kisloroda-v-zakrytyh-pomeshheniyah--utechki-geliya> (дата обращения 23.06.2020).
8. Выбор анализатора кислорода для респирометрии. Технологии, используемые для определения содержания кислорода, их преимущества и недостатки. 12.06.2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://vivariy.com/articles/vybor-analizatora-kisloroda-dlya-respirometrii> (дата обращения 19.06.2020).
9. ГОСТ Р 52350.29.2-2010 Взрывоопасные среды. Часть 29-2. Газоанализаторы. Требования к выбору, монтажу, применению и техническому обслуживанию газоанализаторов горючих газов и кислорода. М.: Стандартинформ, 2012. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200081656> (дата обращения 19.06.2020).
10. Физические принципы приборов измерения точки росы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.compressedair.ru/dewpoint/fp.html> (дата обращения 22.06.2020).

## ОБЗОРЫ

УДК 631.95:636.2

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕХОДА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ КОРМОВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКУЮ ПРОДУКЦИЮ (ОБЗОР ПОДХОДОВ К РАСЧЁТУ)****Епимахов В.Г., Епифанова И.Э.***Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, e-mail: epimakhov.vg@gmail.com, epifan.obninsk@gmail.com*

Целью данной работы является изучение современного состояния вопроса корректности определения одного из наиболее часто используемых параметров, применяемых при проведении оптимизации методов ведения животноводства и получения экологически безопасной продукции в условиях техногенного загрязнения агросферы, – коэффициента перехода тяжёлых металлов из кормов в молоко (мясо) крупного рогатого скота. На основе анализа ряда научных публикаций, где затрагиваются вопросы определения уровней загрязнённости тяжёлыми металлами кормов с применением расчета коэффициентов перехода тяжёлых металлов из суточного рациона в продукцию животноводства, сделаны выводы о правомерности существования нескольких вариантов расчета данного параметра. В связи с этим отмечается необходимость при описании выполненных работ представления более полного объема информации об используемых в процессе исследования данных для исключения разночтения полученных результатов. Подчеркнута важность однозначности трактовки терминов и определений для повышения качества исследований в экотоксикологии, связанных с анализом и обобщением экспериментальных данных. Отмечено, что коэффициент перехода является функцией множества факторов внешней и внутренней среды, влияющих на оценку допустимых уровней содержания тяжёлых металлов в рационе кормления сельскохозяйственных животных.

**Ключевые слова:** тяжёлые металлы, коэффициент перехода, корма, суточный рацион, молоко, КРС**ON THE ISSUE OF DETERMINING THE TRANSFER COEFFICIENT OF HEAVY METALS FROM FEED TO LIVESTOCK PRODUCTS (A REVIEW OF CALCULATION APPROACHES)****Epimakhov V.G., Epifanova I.E.***Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, e-mail: epimakhov.vg@gmail.com, epifan.obninsk@gmail.com*

The aim of this work is to study the current state of the question of the correct determination of one of the most frequently used parameters used in the optimization of livestock breeding methods and the production of environmentally friendly products in conditions of technogenic pollution of the agricultural sphere – the coefficient of transfer of heavy metals from feed to cattle milk (meat). Based on an analysis of a number of scientific publications that address the issues of determining the levels of heavy metal contamination of feed using the calculation of the coefficient of transfer of heavy metals from the daily ration to livestock products, conclusions are drawn about the validity of several options for calculating this parameter. In connection with this fact, the necessity to bring the most complete amount of information about the used in the experiments data to avoid ambiguous interpretation in the results obtained in the description of the work performed is noted. The importance of the unambiguous interpretation of terms and definitions to improve the quality of ecotoxicological research work related with the analysis and synthesis of experimental data are emphasized. It is noted that the coefficient of transfer of heavy metals from the feed to milk (meat) is a function of many factors of the external and internal environment that affect the assessment of permissible levels of heavy metals in the daily ration of farm animals.

**Keywords:** heavy metals, transfer coefficient, feeds, daily ration, milk, cattle

Задача соблюдения норм экологической безопасности при ведении агропроизводства в условиях постоянно возрастающей техногенной нагрузки на окружающую среду является одной из актуальных проблем современности. Тяжёлые металлы (ТМ) – ртуть, кадмий, свинец, мышьяк – включены в число подлежащих контролю при международной торговле пищевыми продуктами. Обладая высокой экотоксичностью, кумулятивностью и синергизмом, они являются наиболее опасными загрязнителями, при попадании в организм нарушают внутренние

обменные процессы и снижают его устойчивость к различным заболеваниям [1].

При разработке мероприятий по получению экологически чистой продукции животноводства необходимо располагать информацией по оценке и прогнозу величин ожидаемых уровней загрязнённости ТМ мяса и молока. Коэффициент перехода (КП) тяжёлого металла в организм животного считается одним из основных количественных показателей, используемых при определении загрязнения животноводческой продукции и прогнозировании

ее соответствия санитарно-экологическим нормативам. Предполагается, что, зная КП тяжёлого металла, можно подобрать состав суточного рациона, обеспечивающий получение экологически безопасной продукции. Несмотря на традиционное использование данного параметра при описании результатов экспериментальных научных работ по вопросам кормопроизводства и ведения животноводства в условиях техногенного загрязнения агросферы, в литературных источниках приводятся несколько вариантов способов расчёта КП тяжёлых металлов.

Цель представленной работы – описание разнообразных подходов к расчёту КП, каждый из которых имеет право на существование. Вместе с тем отмечается, что отсутствие в публикациях полной картины проведения научно-производственных опытов не позволяет проводить сравнительный анализ значений КП и не способствует повышению качества исследовательских работ, связанных с обобщением многочисленных экспериментальных данных.

*А. Расчёт КП как отношения концентрации токсичного элемента в продукции к его суточному содержанию в рационе*

Один из вариантов расчёта коэффициента перехода какого-либо токсиканта из корма в мясо (молоко) – это определение его как процентного отношения концентрации токсичного элемента в продукции к его суточному поступлению с рационом:

$$КП_i = \frac{C_{i \text{ молоко, мясо}}}{A_{i \text{ рацион}}} * 100\%, \quad (1)$$

где КП<sub>*i*</sub> – коэффициент перехода *i*-го элемента (%);

$C_{i \text{ молоко, мясо}}$  – концентрация *i*-го элемента в молоке (мясе), мг/кг;

$A_{i \text{ рацион}}$  – содержание *i*-го элемента в суточном рационе, мг.

Для изучения влияния содержания Hg, Cd, Pb и As в почве, воде и компонентах рациона КРС на их биоаккумуляцию в животноводческой продукции проведены исследования в базовых хозяйствах лесостепной зоны Алтайского края [2]. Установлено, что КП ртути, кадмия, свинца и мышьяка из суточного рациона в молоко находились соответственно в пределах, %: 0,21–0,59; 0,69–1,09; 0,40–0,64 и 0,31–0,78, а КП в мышечную ткань составил 1,74–3,91; 1,01–1,13; 3,37–5,90 и 0,23–0,35.

В соответствии с формулой (1) определялись КП свинца, кадмия и других экотоксикантов из рациона в молоко коров из хозяйств Тульской Калужской и Орловской областей [3], а также для КРС из хозяйств Алметьевского, Заинского и Нижнекамского районов Республики Татарстан [4].

Животные выращивались на кормовых угодьях, загрязнённых <sup>137</sup>Cs и тяжёлыми металлами. Средние значения коэффициентов перехода из рациона лактирующих коров в молоко для различных периодов содержания животных показали, что КП как для <sup>137</sup>Cs, так и для ТМ имеют сезонные особенности и уменьшаются при переводе животных с летне-пастбищного содержания на зимне-стойловое.

Таким же способом оценивались КП экотоксикантов в молоко коров при разработке научного обоснования комплекса мероприятий, гарантирующих производство экологически безопасной продукции животноводства на техногенно загрязнённых территориях [1, 5]. Проведен расчёт пределов допустимого содержания ТМ в рационах. Отмечена зависимость размеров перехода токсикантов от содержания сырой клетчатки в рационах: с увеличением её доли в рационе коэффициенты перехода ТМ в молоко уменьшаются.

Аналогичным образом коэффициенты перехода ряда тяжёлых металлов определяются в перечисленных ниже работах по проблемам:

- контаминированности токсичными элементами, микотоксинами и радионуклидами сельхозугодий и продукции в хозяйствах Республики Татарстан и разработки методов снижения их влияния на организм животных [6];

- поступления свинца и кадмия в молоко коров в зависимости от способа содержания животных (для пастбищного и зимне-стойлового периодов) и типа рациона в хозяйствах Минской и Гомельской областей [7];

- оценки уровня загрязнения и транслокации тяжёлых металлов в рационах кормления и молоке коров сельскохозяйственных предприятий Щучанского района Курганской области на территории размещения объектов по хранению и уничтожению химического оружия [8];

- содержания токсикантов в системе «корм – рацион коров – молоко» и установления степени их перехода из кормов зимнего и летнего рациона в молоко в колхозах Минского района Республики Беларусь [9];

- закономерности миграции ТМ в трофической цепи лактирующих коров из хозяйств Московской области [10];

- оценки загрязнения молочной продукции в хозяйствах техногенно загрязнённых зон России в Брянской области [11];

- установления загрязнённости экотоксикантами в пищевой цепи «почва – растение – животное – молоко» путём проведения мониторинга в хозяйствах юго-восточной

зоны Республики Татарстан, результаты которого использованы при картографировании с нанесением зон, неблагоприятных по содержанию ТМ в почве, кормах, молоке [12].

*Б. Расчёт КП как отношения содержания токсичного элемента в продукции к содержанию его солей в рационе*

При изучении перехода солей тяжёлых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn) из кормов рациона зимне-стойлового периода в молоко коров из хозяйств «Заречье» Минской области коэффициент перехода авторы [13] рассчитывали как отношение содержания солей ТМ в молоке к суточному содержанию солей этого ТМ в рационе:

$$КП_i = \frac{A_{i \text{ молоко}}}{A_{i \text{ рацион}}} * 100\%, \quad (2)$$

где  $A_{i \text{ молоко}}$  – содержание солей  $i$ -го элемента в молоке, мг;

Для Cu коэффициент перехода составил 0,8%, для Zn – 12,6%, для Pb – 2,4% и для Cd – 2,5%.

Также определяли КП в молоко Cd, Pb, Hg и ряда других ТМ при проведении экспериментальных работ в СПК «Базы» Республики Башкортостан [14–17] по выявлению наиболее приспособленных генотипов КРС для получения высококачественных молока и говядины в условиях интенсивного земледелия.

В работе [18] оценено содержание Pb, Cd и As в молоке и волосяном покрове коров в хозяйстве ОАО «Червлёное» Волгоградской области. Рассчитан коэффициент перехода Cd из рациона питания в молоко, который, согласно приведённой формуле (2), составил 21%.

Проведены исследования в хозяйствах Вологодской, Ивановской и Ярославской областей Центрального региона Нечерноземной зоны России [19]. Оценку уровня содержания тяжёлых металлов свинца, ртути и кадмия в кормах и молочном сырье проводили методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. В результате сопоставления, с одной стороны, количества поступивших тяжёлых металлов с кормами рациона в организм коров, а с другой стороны – количественного содержания их в молоке рассчитаны КП кадмия, свинца и ртути в молоко по указанной выше формуле.

*В. Расчет КП как отношения содержания токсичного элемента в продукции к содержанию его солей в рационе и питьевой воде*

В работе [20] определены коэффициенты перехода солей ТМ (Zn, Pb, Cu и Cd) из кормов рациона в организм и молоко коров колхоза им. Ленина РСО – Алания, а также эффективность использования ак-

тивированного угля в качестве сорбента солей ТМ. Вместе с рационом учтено поступление токсикантов с питьевой водой. Соответственно, формула определения КП выглядит следующим образом:

$$КП_i = \frac{A_{i \text{ молоко}}}{(A_{i \text{ рацион}} + A_{i \text{ вода}})} * 100\%, \quad (3)$$

где  $A_{i \text{ вода}}$  – содержание солей  $i$ -го элемента в питьевой воде, мг.

Установлено, что скармливание коровам 2,5 г/кг активированного угля существенно снижает КП солей ТМ из кормов рациона в организм: Cu – на 11,9%; Zn – на 6,8%; Pb – на 60,4% и Cd – на 62,8%.

Проанализирована миграция токсических веществ в пищевой цепи КРС пригородных хозяйств Красноярска [21]. КП тяжёлых металлов из кормов рациона в молоко также рассчитывались по формуле (3).

Содержание солей ТМ в воде, потребляемой животными вместе с суточным рационом, учитывалось в исследованиях по изучению добавления в рацион КРС минеральной агоруды ирлита-1 [22]. Наибольшими КП из кормов в организм обладают Pb и Cd.

*Г. Расчёт КП как отношения концентрации токсичного элемента в продукции к его концентрации в корме*

В процессе установления количественных характеристик перехода ТМ из рациона в молоко лактирующих коров и оценки влияния этих ТМ на санитарно-гигиенические качества молока, получаемого в хозяйствах Тульской и Орловской областей, для расчета КП свинца и кадмия в молоко использовали следующее соотношение [23]:

$$КП_i = \frac{C_{i \text{ молоко}}}{C_{i \text{ рацион}}} * 100\%, \quad (4)$$

где  $C_{i \text{ рацион}}$  – концентрация  $i$ -го элемента в суточном рационе, мг/кг.

Результаты исследований показали, что коэффициенты перехода тяжёлых металлов из корма в молоко образовывали ряд  $Pb > Cr > Ni > Cd$ .

В работе [24] приведены концентрации Zn, Pb, Cd и Cu в почве, рационе, молоке и их КП в молоко. Показано, что коэффициенты перехода ТМ из рациона в молоко в летне-пастбищный период выше, чем в зимне-стойловый. Объясняется это дополнительным поступлением загрязнителей в организм животных с дерниной и почвенными частицами, поскольку содержание ТМ в них выше, чем в растениях. Расчёт КП проводился по формуле (4).

Таким же способом определялись КП при разработке научно обоснованных ме-

роприятий улучшения качества и экологической безопасности молока коров краснопёстрой породы в зоне влияния крупного промышленного центра [25].

*Д. Отсутствие или неполное представление информации о способе расчёта КП*

Работы, содержащие, подобно перечисленным выше публикациям, полные сведения о способе расчёта коэффициентов перехода и данные о содержании (концентрации) соответствующих тяжёлых металлов в молоке и суточном рационе животных, по нашему мнению, несмотря на отличия в подходах к расчёту КП, наиболее корректно отражают информацию, полученную в ходе исследовательских работ. Однако в процессе обзора и изучения источников литературы выявлено значительное количество публикаций, авторы которых приводят указанные сведения не в полном объеме.

При подобном способе изложения результатов проведенных исследований восприятие материала затруднено: возникает необходимость в сверке размерностей представленных величин и соотношении их с определениями, которыми оперируют авторы. А если исходные данные приведены не полностью, понять, каким образом получены значения КП, становится невозможным, что снижает значимость проведенных работ, приводит к отказу использования полученных результатов и исключению из рассмотрения при анализе и обобщении, отсутствию ссылок на такие публикации и т.д.

В [26, 27] рассмотрены результаты обследования проб растительных кормов и молока коров, отобранных в семи районах Тюменской области, с целью проведения оценки содержания ТМ в рационе КРС и изучения накопления этих токсикантов в молоке. Рассчитаны значения КП в молоко для свинца, кадмия, мышьяка и ртути. Приведены данные о содержании перечисленных токсикантов в молоке коров и в отдельных кормах, составляющих рацион (в силосе, зеленой массе, кукурузе). Для получения более полной информации, по нашему мнению, желательно было указать содержание ТМ в рационе, для определения, по какому способу проводился расчет КП.

В работе [28] анализируются зависимости перехода ТМ из рациона в молоко от состава и типа кормления, содержания клетчатки в кормах, позволяющие регулировать темпы поступления токсикантов и использовать их для получения нормативно чистой продукции животноводства. Проанализированы рационы кормления дойных коров в стойловый период в ПК «Биклянь» Тукаевского района (Татарстан).

Дано среднесуточное поступление токсикоэлементов с рационом в организм дойных коров, содержание ТМ в молоке (мг/кг). Приведены коэффициенты перехода ТМ из рациона в молоко, но порядок их расчёта не представлен.

Работа [29] посвящена изучению особенностей перехода ТМ из рационов в молоко коров сельхозпредприятий Щучанского района Курганской области. Определена концентрация тяжёлых металлов в рационах и молоке. Отмечено, что при увеличении токсичности рациона барьерные функции организма животных усиливаются и КП в цепи «рацион – молоко» снижается. В пастбищный период коэффициент перехода больше, чем в стойловый период. Возможность использования экспериментальных данных путем перебора формул расчёта КП позволила определить способ подхода к его оценке – это формула (1).

В исследованиях [30, 31] изучены связи между содержанием ТМ в объектах внешней среды пригородной зоны Волгограда и их распространением в системе «почва – вода – корма – животное – продукция животноводства». Определено содержание Cd, Zn, Hg, Pb, Cu, Ni, Fe, а также As; оценено качество и технологические свойства продуктов скотоводства в условиях техногенеза. Представлены коэффициенты перехода ТМ в молоко коров районированных пород. Способ расчёта не указан.

При изучении особенностей перехода тяжёлых металлов из рационов лактирующих коров в молоко [32] выявлено снижение коэффициентов перехода свинца, цинка и меди в молоко с увеличением количества ТМ в кормах, связанного как с загрязненностью территории, так и с сезонностью кормовых условий. Общей закономерностью, установленной по результатам исследований, можно считать увеличенное поступление в организм лактирующих коров тяжёлых металлов в летний пастбищный период. Способ расчёта КП из кормов рациона в молоко также не представлен.

### Заключение

Изучив и проанализировав научные публикации, в которых представлены результаты определения уровней загрязнённости тяжёлыми металлами кормов и продукции животноводства (молоко, мясо КРС), а также рассчитаны коэффициенты перехода ТМ из суточного рациона в молоко (мясо), авторы сделали следующие выводы:

1. Наиболее корректно отражают информацию работы, содержащие сведения о способе расчёта коэффициентов перехода, а также данные о содержании (концентра-

ции) соответствующих тяжёлых металлов (токсикантов) в молоке и суточном рационе животных. В случае возникновения вопросов есть возможность уточнения представленных значений КП соответствующего токсиканта, зная его концентрацию или содержание в молоке и в суточном рационе путем расчётов по указанному в работе способу. При отсутствии такой возможности вероятно ситуация, когда научная публикация, несмотря на большой объём выполненных исследований, не будет представлять достаточного интереса для использования её результатов и цитирования другими специалистами.

2. В зоотехнической практике допустимые уровни (ДУ) содержания тяжёлых металлов в суточном рационе рассчитывают на основании усреднённых значений КП и предельно допустимой концентрации ТМ в молоке и мясе, регламентированные требованиями СанПиН 2.3.2.1078-01:

$$ДУ = \frac{ПДК}{КП} * 100\%. \quad (5)$$

Оценка ДУ содержания ТМ в рационе жвачных животных при учёте конкретных условий содержания и кормления разных возрастных групп, но разных подходах к расчёту КП приводит к получению результатов, достаточно отличающихся друг от друга, что затрудняет проведение сравнительного анализа значений КП различных исследований, не располагая подробным описанием условий экспериментов.

3. В современных условиях увеличения техногенной нагрузки на окружающую среду вопросы разработки научных основ для проведения мероприятий по соблюдению норм экологической безопасности в агропромышленном производстве не будут терять актуальности. Проведение экспериментальных работ, изучающих переход тяжёлых металлов по трофической животноводческой цепи, является дорогостоящим проектом, поэтому важно, чтобы информация, полученная в процессе таких экспериментов, публиковалась корректно и в оптимальном объёме. Однозначная трактовка терминов и определений, представление в публикациях полной картины проведения научно-производственных опытов способствует повышению качества исследовательских работ, связанных с анализом и обобщением многочисленных экспериментальных данных.

#### Список литературы

1. Ильязов Р.Г., Алексахин Р.М., Фисинин В.И. Методология исследований и экспериментов в агроэкосфере при различных типах техногенеза // *Сельскохозяйственная биология*. 2010. № 2. С. 3–17.

2. Сарычев Н.Г., Толкушкина Г.Д., Кравец В.В. Экологически безопасное мясо в зонах загрязнения // *Агрорынок*. 2010. № 12. С. 18–20.

3. Исамов Н.Н., Сироткин А.Н., Фесенко С.В., Соколова Е.В. Закономерности миграции техногенных загрязнителей в трофической цепи лактующих коров // *Экология*. 1998. № 6. С. 441–446.

4. Ильязов Р.Г., Ахметзянова Ф.К. Обеспечение экологической безопасности продукции животноводства в условиях нефтегазового техногенеза Республики Татарстан // *Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины*. 2013. Т. 49. № 2–1. С. 69–72.

5. Методическое руководство по организации агроэкологического мониторинга, производства и сертификации экологически безопасной сельскохозяйственной продукции в условиях техногенеза / Под ред. акад. РАСХН В.И. Фисинина и чл.-корр. АН РТ Р.Г. Ильязова. Уфа: Гилем, 2013. 256 с.

6. Минхаеров Р.Р. Контаминированность ксенобиотиками с.-х. угодий, кормов и молока в техногенной зоне и меры по снижению их поступления в организм животных: дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2015. 120 с.

7. Аверин В.С., Пятнов Ю.Н., Ненашев Р.А. Поступление свинца и кадмия в молоко коров в зависимости от способа и типа рациона в разных регионах Белоруссии // *Актуальные проблемы экологии на рубеже III тысячелетия и пути их решения*. Т. 1. Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 1999. С. 345–349.

8. Кушева О.В. Оценка системы «рацион – молоко» по содержанию и транслокации тяжёлых металлов в районе расположения объектов по хранению и уничтожению химического оружия // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2010. Т. 4. № 28–1. С. 95–97.

9. Кветковская А.В., Заяц В.Н., Голушко О.Г. Сезонные колебания токсикантов в кормах и молоке коров // *Зоотехническая наука Беларуси*. 2003. Т. 38. С. 204–209.

10. Сироткин А.Н., Воронов С.И., Расин И.М., Корнев Н.А., Соколова Е.А., Сидорова Е.В., Исамов Н.Н. Миграция тяжёлых металлов в трофической цепи лактирующих коров Подмосквья // *Доклады Россельхозакадемии*. 2000. № 4. С. 37–39.

11. Кудрявцев В.Н., Васильев А.В., Морозов И.А., Краснова Е.Г., Губарева О.С., Грудина Н.В. Закономерности миграции и нормирование тяжёлых металлов в трофической цепи крупного рогатого скота // *Доклады РАСХН*. 1999. № 2. С. 37–39.

12. Кузина М.В. Миграция токсичных элементов в трофической цепи в зоне повышенной техногенной нагрузки Республики Татарстан и пути снижения их поступления в организм животных: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2013. 20 с.

13. Барановский М.В., Курак А.С., Навицкая Р.Я., Кажико О.А., Липницкая М.И., Капустин Н.К. Уровень концентрации солей тяжёлых металлов в молоке в зависимости от содержания их в рационе коров // *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. Горки: Белорусская государственная с.-х. академия, 1998. С. 99–104.

14. Карнаухов Ю.А. Поллютанты в системе «почва – корма – молоко» в условиях интенсивного земледелия // *Известия ОГАУ*. 2014. № 5 (49). Часть 1. С. 137–141.

15. Карнаухов Ю.А. Технологические аспекты производства продукции животноводства при рациональном использовании генетического потенциала крупного рогатого скота и свиней: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Уфа, 2016. 47 с.

16. Андриянова Э.М., Тагиров Х.Х., Карнаухов Ю.А. Влияние генотипа коров на коэффициенты перехода химических элементов в молоко // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2011. № 1. С. 155–158.

17. Андриянова Э.М., Карнаухов Ю.А. Биологическая эффективность коров и экологическая безопасность продукции в зависимости от генотипа // *Состояние и перспективы увеличения производства высококачественной продукции сельского хозяйства: материалы Юбилейной III Всерос.*

научно-практ. конф., посвященной 75-летию со дня рождения Савельева А.В. и 10-летию создания кафедры технологии мяса и молока ФГБОУ ВПО Башкирского ГАУ. Уфа, 2014. С. 4–7.

18. Белозубова Н.Ю. К вопросу о безопасности продукции животноводства // Социальная политика и социология. 2013. Т. 2. № 6. С. 68–74.

19. Гуркина Л.В., Иванов В.И., Воронова И.А. Зависимость качества молочной продукции от экологической обстановки в Центральном регионе Нечерноземной зоны России // Качество жизни населения и экология: монография. Пенза: Пензенский ГАУ, 2018. С. 45–66.

20. Цуциева А.У. Повышение качества молока и молочных продуктов при использовании в рационе коров активированного угля: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Владикавказ, 2008. 23 с.

21. Борцова И.Ю., Носкова Н.Е. Исследование динамики коэффициентов перехода тяжелых металлов из кормов рациона в молоко в хозяйствах пригородной зоны г. Красноярска // Проблемы современной аграрной науки: материалы Международной заочной научной конференции 15.10.2011. Красноярск: КрасГАУ, 2012. С. 60–64.

22. Гобозова Ф.Л. Технологические свойства, экологическая характеристика молока и конверсия энергии корма в энергию молока при скармливании коровам ирлита-1: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Владикавказ, 2003. 24 с.

23. Сироткин А.Н., Исамов Н.Н., Лой В.И., Соколова Е.А., Сидорова Е.В., Шокель М.О. К вопросу о миграции тяжелых металлов по цепи корм – корова – молоко // Сельскохозяйственная биология. 1997. № 2. С. 59–63.

24. Медведская Т.В., Субботин А.М. Экологическая безопасность сельскохозяйственной продукции: Учебное пособие. Витебск: УО ВГАВМ, 2013. 133 с.

25. Мишина О.Ю. Улучшение качества и экологической безопасности молока при использовании в рационах

лактлирующих коров препаратов «Унитиол» и ДАФС-25 совместно с тыквенным жмыхом: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Волгоград, 2010. 23 с.

26. Гаевая Е.В. Эколого-токсикологическая оценка сельскохозяйственной продукции юга Тюменской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2012. 16 с.

27. Гаевая Е.В., Захарова Е.В., Скипин Л.Н. Возможности накопления тяжелых металлов в системе «корма – молоко» // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 4. С. 54–57.

28. Гилемханов М.И. Оценка загрязнения кормов тяжелыми металлами, поступающими в организм дойных коров в условиях техногенного загрязнения агроэкосистем // Инновационное развитие современной науки: сборник статей. Уфа: РИОМЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2014. С. 3–7.

29. Кошелев С.Н., Романова О.В. Особенности перехода тяжелых металлов из рационов лактирующих коров в молоко // Научное обеспечение реализации государственных программ АПК и сельских территорий: сборник статей. Лесниково: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2017. С. 226–229.

30. Онистратенко Н.В. Распространение и нейтрализация ксенобиотиков в системе «почва – растения – животные – продукция животноводства»: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2012. 22 с.

31. Пенькова И.Н., Мишина О.Ю. Инновационные технологии производства экологически безопасных продуктов скотоводства. Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2012. 180 с.

32. Ляшук Р.Н., Буяров В.С., Ляшук А.Р. Миграция тяжелых металлов из кормов в молоко на территориях различной степени загрязненности // Современные аспекты биобезопасности продукции животноводства: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Орел: Орловский ГАУ имени Н.В. Парахина, 2018. С. 63–71.

## СТАТЬИ

УДК 504.54:631.92(571.6)

**ЭКОЛОГО-ЛАНДШАФТНОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ АГРАРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА****Мухина Н.В., Суржик М.М., Авраменко А.А., Наумова Т.В., Фалько В.В.***ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», Уссурийск,  
e-mail: muxina-847@mail.ru, mariams2003@mail.ru, rafaello.91@mail.ru,  
tanya\_naumova1970@mail.ru, falco\_vv@mail.ru*

Одним из критериев возможности осуществления производства экологически безопасной продукции сельского хозяйства является ландшафтно-экологическая оценка земель. Юг Дальнего Востока считается перспективной территорией для производства продукции сельского хозяйства. В настоящем исследовании использовались данные трех типичных для юга Дальнего Востока сельскохозяйственных предприятий. В составе площадей исследуемых сельскохозяйственных предприятий основную долю занимали пашня и естественные кормовые угодья. Из устойчивых земель присутствовали лес и небольшие по площади водоемы. Наблюдалось отсутствие ремизных территорий, таких как экологические ниши, микрозаповедники. Для оценки состояния территории этих хозяйств использовались показатели коэффициента экологической стабильности, ширина благоприятного влияния экологически стабильных угодий и коэффициент антропогенной нагрузки. Коэффициент экологической стабильности варьировал в пределах 0,30–0,49, что показывает низкую устойчивость ландшафтов исследуемых хозяйств. Ширина благоприятного влияния экологически стабильных угодий варьировала в пределах 300–600 м. Учитывая среднюю протяженность пахотных угодий в хозяйствах юга Дальнего Востока не более 1000 м, экологически стабильные угодья, такие как лес, естественные луга, и водоемы, способны повышать устойчивость антропогенно преобразованных земель за счет распространения благоприятного воздействия. Коэффициент антропогенной нагрузки находится в пределах от 3,03 до 3,45, что свидетельствует о средней нагрузке на ландшафты исследуемых сельскохозяйственных предприятий, причем нагрузка стремится к значительной степени. Расчет указанных коэффициентов позволяет сделать вывод о необходимости повышения устойчивости ландшафтов в пределах сельскохозяйственных предприятий юга Дальнего Востока.

**Ключевые слова:** юг Дальнего Востока, ландшафт, земельные угодья, экологическая стабильность, антропогенное влияние

**ECOLOGICAL-LANDSCAPE CONDITION OF LANDS OF AGRARIAN ENTERPRISES OF THE SOUTH OF THE FAR EAST****Mukhina N.V., Surzhik M.M., Avramenko A.A., Naumova T.V., Falco V.V.***Primorye State Agricultural Academy, Ussuriisk, e-mail: muxina-847@mail.ru, mariams2003@mail.ru,  
rafaello.91@mail.ru, tanya\_naumova1970@mail.ru, falco\_vv@mail.ru*

One of the criteria for assessing the land of the possibility of producing environmentally friendly agricultural products is the landscape-ecological assessment of land. The South of the Far East is considered a promising area for agricultural production. In this study, we used data from three typical agricultural enterprises in the south of the Far East. Arable land and natural fodder land occupied the main part of the areas of the agricultural enterprises under study. Of the stable lands, forest and small water bodies were present. There was a lack of remiz territories, such as ecological niches, micro-reserves. To assess the state of the territory of these farms, indicators of the coefficient of environmental stability, the width of the beneficial effect of ecologically stable lands and the coefficient of anthropogenic load were used. The coefficient of environmental stability varied between 0.30 and 0.49, which indicates a low stability of the landscapes of the studied farms. The width of the beneficial effect of ecologically stable lands varied within the range of about 300-600 m. Considering the average length of arable land in farms in the south of the Far East is not more than 1000 m, ecologically stable lands, such as forests, natural meadows, and water bodies, can increase the stability of anthropogenically transformed lands due to the spread of beneficial effects. The anthropogenic load coefficient is in the range from 3.03 to 3.45, which indicates the average load on the landscapes of the studied agricultural enterprises. Moreover, the load tends to a large extent. The calculation of these coefficients allows us to conclude that it is necessary to increase the stability of landscapes within the agricultural enterprises of the south of the Far East.

**Keywords:** South of the Far East, landscape, arable land, ecological stability, anthropogenic impact

Экологическое состояние ландшафтов аграрных предприятий в современных условиях производства является одним из критериев оценки возможности производства экологически безопасной продукции. Эколого-ландшафтная оценка территории имеет комплексный характер и самостоятельное значение, поскольку направлена на учет реально существующих экологических осо-

бенностей территории хозяйства. Поэтому оценка эколого-ландшафтного состояния сельскохозяйственных земель является ключевой для выбора территории, соответствующей критериям экологической безопасности. Юг Дальнего Востока в настоящее время находится под пристальным вниманием производителей аграрной продукции. Это связано с мнением, что на Дальнем

Востоке существуют земельные ресурсы, подходящие для производства экологически чистой продукции сельского хозяйства, все более востребованной среди населения России и Восточной Азии. Однако сельскохозяйственные территории в этом регионе сложились еще в начале прошлого столетия и претерпели ряд коренных изменений [1]. Поэтому настоящее исследование направлено на выяснение степени антропогенного преобразования сельскохозяйственных земель на этой территории.

Цель исследования: оценить соотношение между природными и антропогенными процессами, касающимися использования земельных ресурсов.

#### Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужили сельскохозяйственные предприятия, расположенные в южной части Дальнего Востока. Оценка эколого-ландшафтного состояния проводилась по методике С.Н. Волкова [2]. Для этого использовались статистические данные о площадях, данные обследования территории и картографический материал сельскохозяйственных предприятий, собранные в результате обследования.

В процессе проведения исследования было выбрано три сельскохозяйственных предприятия, наиболее типичных для юга Дальнего Востока. Все исследуемые хозяйства находятся на территории Раздольненско-Ханкайской низменности. Рельеф территорий равнинно-увалистый. Во всех

хозяйствах присутствуют одинаковые типы почв: луговые глеевые, лугово-бурые, бурые лесные. Пахотные угодья расположены на равнинной части территории и окружены увалами, занятыми кустарниками, редколесьем и лесными массивами. Естественные кормовые угодья расположены как на равнинной, так и на увалистой части земель. Водные объекты имеют естественный характер и представлены небольшими реками и ручьями. Поскольку для расчетов использовались производственные показатели исследуемых сельскохозяйственных предприятий, в работе они указаны как «Хозяйство 1», «Хозяйство 2» и «Хозяйство 3».

#### Результаты исследования и их обсуждение

С целью дифференциации экологического состояния территории, установления целесообразного использования земель и соответствующих мелиоративных мероприятий на территории каждого сельскохозяйственного предприятия были сформированы группы эколого-ландшафтных микрозон и зон с особым режимом использования земель: водоохранные зоны и прибрежные полосы, зоны загрязнения вокруг животноводческих комплексов, крупных автодорог, эрозионно-опасные земли, мелиорированные земли и др. [3]. Подсчитана площадь каждой зоны. На основе этих данных рассчитан коэффициент экологической стабильности территории каждого из оцениваемых сельскохозяйственных предприятий (табл. 1).

Таблица 1

Определение коэффициента экологической стабильности территории

№ п/п	Наименование угодий	K <sub>1</sub>	Хозяйство <sub>1</sub>		Хозяйство <sub>2</sub>		Хозяйство <sub>3</sub>	
			P	P x K <sub>1</sub>	P	P x K <sub>1</sub>	P	P x K <sub>1</sub>
1	Пашня	0,14	3028,1	423,9	1577,2	220,8	1754,0	245,6
2	Естественные кормовые угодья (сенокосы и пастбища)	0,56	1621,0	907,8	952,7	533,5	626,9	351,1
3	Лес	1	2231,6	2231,6	909,7	909,7	130,5	130,5
4	Лесополосы	0,38	12,3	4,7	–	–	–	–
5	Кустарники и редколесье	0,43	1189,9	511,7	610,0	262,3	179,9	77,3
6	Под водой (естественные водоемы)	0,79	104,3	82,4	–	–	40,0	31,6
7	Водохранилища	0,79	10,3	8,1	–	–	–	–
8	Каналы и дамбы	0	103,4	0	–	–	–	–
9	Под дорогами	0	346,4	0	–	–	16,0	0
10	Под постройками (населенные пункты)	0	163,0	0	–	–	28,0	0
11	Овраги	0	–	–	57	–	–	–
	Итого:		8810,4	4170,2	4106,6	2011,5	2775,3	836,1
	Коэффициент экологической стабильности		0,47		0,49		0,30	

Примечание. K<sub>1</sub> – Коэффициент экологической стабильности угодий. P – площадь, га. B – ширина благоприятного влияния.

Полученный коэффициент экологической стабильности территорий исследуемых сельскохозяйственных предприятий находится в пределах 0,3–0,47, что свидетельствует о слабой экологической устойчивости ландшафтов. Причиной тому служит значительная площадь пашни и других преобразованных территорий, имеющих разную степень техногенного вмешательства. Чем выше коэффициент экологической стабильности, тем устойчивее существование ландшафта без вмешательства человека. Для исследуемых сельскохозяйственных предприятий юга Дальнего Востока характерно разрушение агроландшафтов, остающихся без поддержания их заданных функций. Это отчетливо прослеживалось в период аграрного кризиса второй половины 1990-х – начала 2000-х гг., когда разрушались мелиоративные системы, приходили в негодность полевые дороги, зарастали кустарником сенокосы и пастбища [4].

Экологически стабильные угодья способны благоприятно влиять на окружающую среду и таким способом повышать устойчивость прилегающих экологически нестабильных угодий. Поэтому на основе одного только коэффициента экологической стабильности территории, рассчитанного по данным о площадях угодий хозяйства, нельзя судить о действительной экологической устойчивости территории [5]. Необходимо проанализировать влияние естественных устойчивых земель на антропогенно преобразованные участки. Для этого была исследована ширина благоприятного влияния экологически устойчивых земель (табл. 2).

Этот показатель означает, что в исследуемых хозяйствах естественные угодья оказывают благоприятное воздействие на антропогенно преобразованные территории на ширину от 300 до 600 м. Учитывая, что протяженность пахотных угодий в большинстве хозяйств юга Дальнего Востока не превышает 1000 м, эти данные означают благоприятное влияние лесов, лугов

и водоемов практически на всю площадь сельскохозяйственных угодий, которые они окружают.

Земельные угодья южной части Дальнего Востока претерпевают заметную антропогенную нагрузку. Это связано с ежегодным увеличением обрабатываемой площади пашни. Повышается интерес стран Восточной Азии к зерну сои, кукурузы и риса, произведенному на территории российского Дальнего Востока, что способствует вовлечению в оборот ранее не используемых пахотных угодий [6]. Увеличение площадей под производственными постройками, животноводческими фермами, дорогами, линиями электропередач и другими объектами инфраструктуры влечет за собой повышение антропогенной нагрузки на территорию. Поэтому коэффициент антропогенной нагрузки является показателем в оценке влияния деятельности человека на земли сельскохозяйственного предприятия. Чем ниже этот коэффициент, тем меньше степень человеческого вмешательства. В сельскохозяйственных предприятиях именно площадь пахотных угодий определяет антропогенную нагрузку, и этот показатель будет зависеть от соотношения пашни, луга и леса (табл. 3).

Коэффициент антропогенной нагрузки свидетельствует, что земельные угодья исследуемых сельскохозяйственных предприятий испытывают воздействие человека в средней степени, стремящейся к значительной. Антропогенная нагрузка вызвана достаточно крупными площадями пахотных угодий по отношению к площади сельскохозяйственных предприятий. Отсутствие экологических ниш, микрозаповедников и других ремизных территорий в пределах границ сельскохозяйственных предприятий свидетельствует о проблемах экологического подхода к использованию земельных угодий. Несколько сглаживает антропогенную нагрузку присутствие достаточно крупных площадей лесов и естественных кормовых угодий.

Таблица 2

Ширина благоприятного влияния экологически стабильных угодий

Наименование угодий	$K_2$	Хозяйство 1		Хозяйство 2		Хозяйство 3	
		Р	В	Р	В	Р	В
Естественные кормовые угодья	1,71	1620,08	418,45	952,7	389,7	626,9	364,69
Лес	2,29	2231,6	523,09	909,7	463,5	130,5	331,38
Кустарники и редколесье	1,47	1189,9	368,8	610,0	334,0	179,9	270,4
Лесополосы	2,29	12,3	170,25	–	–	–	–
Пруды и болота	2,93	104,3	378,57	–	–	40,0	368,88

Примечание.  $K_2$  – Коэффициент экологического влияния угодий на окружающие земли. Р – площадь, га. В – ширина благоприятного влияния.

Таблица 3

Оценка земель по степени антропогенной нагрузки

Степень антропогенной нагрузки	Балл, Б	Группа земель, соответствующих степени антропогенной нагрузки и баллу оценки	Хозяйство 1		Хозяйство 2		Хозяйство 3	
			Р	Р*Б	Р	Р*Б	Р	Р*Б
Высокая	5	Земли промышленности, транспорта, населенные пункты, дороги	623,1	3115	57,0	285	44	220
Значительная	4	Пашня, многолетние насаждения, огороды	3028,2	12112	1574,2	6269	1754	7016
Средняя	3	Культурные кормовые угодья: залуженные балки, пастбища, сенокосы	1621,0	4863	952,7	2858	626	1880
Незначительная	2	Лесополосы кустарники, леса болота под водой	3538,1	7076	1522,7	3045	250	500
Низкая	1	Микрозаповедники	–	–	–	–	–	–
Итого			8810	27167	4106	12458	2775	9597
Коэффициент антропогенной нагрузки			3,08		3,03		3,45	

Примечание. Б – балл антропогенной нагрузки. Р – площадь, га.

**Заключение**

Проведенные исследования показали, что территория всех трех сельскохозяйственных предприятий не является экологически стабильной. Кроме того, все три объекта исследования испытывают антропогенную нагрузку, стремящуюся к значительной. Благоприятным фактором является лишь то, что антропогенно преобразованные сельскохозяйственные угодья окружены довольно большими площадями естественных угодий, благоприятно на них влияющих. В хозяйствах юга Дальнего Востока необходимо провести землеустроительные мероприятия, направленные на планирование использования угодий в соответствии с экологическим подходом к сельскому хозяйству.

**Список литературы**

1. Суржик М.М., Ознобихин В.И., Черняк Д.М. Чеканикова Т.А. К оценке плодородия почв пашенных земель юга российского Дальнего Востока // Успехи современного естествознания. 2016. № 12. С. 105–109.
2. Волков С.Н. Землеустройство: учебник. М.: ГУЗ, 2013. 992 с.
3. Сулин М.А. Современные проблемы землеустройства: монография. СПб.: Лань, 2020. 172 с.
4. Старожилов В.Т., Суржик М.М., Ознобихин В.И. К разработке агроландшафтных систем земледелия применительно к югу Дальнего Востока // Агротехнологии в мировом земледелии. Глобальные тенденции и мировые особенности. Усурийск: Приморская ГСХА, 2014. С. 204–213.
5. Дьяченко И.Л., Брюханова Г.А., Покровский С.А. Потенциальные возможности неиспользуемых земель и кормовых угодий в обеспечении продовольственной безопасности России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2015. № 6. С. 21–24.
6. Сакара Н.А., Колодкин В.Г., Тарасова Т.С., Жильцов А.Ю., Кольев Н.В., Нестерова О.В., Ознобихин В.И. Основные итоги и перспективы исследований в овощеводческом земледелии в условиях муссонного климата Приморья // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2019. № 3 (205). С. 64–68.

## СТАТЬИ

УДК 616.36-008.5-053.31

**ПРЕДИКТОРЫ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ЖЕЛТУХ  
У НЕДОНОШЕННЫХ НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ****Боконбаева С.Дж., Зейвальд С.В., Афанасенко Г.П.***Кыргызско-Российский Славянский университет, Бишкек, e-mail: sbokonbaeva@gmail.com, vitaminkalana@mail.ru, galina\_afanasenko@mail.ru*

В структуре детской заболеваемости и смертности перинатальная патология занимает первое место. С введением ВОЗ критериев живорожденности выросла важность изучения заболеваемости недоношенных, что является основным или фоновым риск-фактором повышенной заболеваемости и смертности детей. Среди патологий, возникающих в перинатальном периоде, ведущее место занимает патологическая неонатальная желтуха. Проведено исследование течения беременности и родов, а также сопутствующих патологий матерей исследуемых детей. Целью исследования явилось выявление предиктивных факторов развития гипербилирубинемии у недоношенных детей. Использовалась параметрическая описательная статистика. В основную группу вошли недоношенные дети с гипербилирубинемией  $n = 278$ . Контрольную группу составили 212 доношенных новорожденных детей. Критериями отбора служили показатели билирубина в соответствии с номограммой в различные сроки гестации, оценка иктеричности кожных покровов и слизистых по шкале Крамера, показателей транскутанной билирубинометрии и сохранение гипербилирубинемии более 14 дней у доношенных и более 21 дня у недоношенных младенцев. Выявлено, что прогностически неблагоприятными факторами являются в течение беременности – ЖДА, гипертония, инфекционно-воспалительные заболевания генитального тракта; в родах – асфиксия новорожденного, оперативные роды, индуцированные роды, пре- и эклампсия, обвитие пуповины, а также сопутствующая патология – заболевания сердечно-сосудистой системы и генитального тракта.

**Ключевые слова:** недоношенные, новорожденные, факторы риска, патологические желтухи, гипербилирубинемия

**PREDICTORS OF PATHOLOGICAL JAUNDICE  
IN PREMATURE NEWBORN CHILDRE****Bokonbaeva S.Dzh., Zeyvald S.V., Afanasenko G.P.***Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgystan, e-mail: sbokonbaeva@gmail.com, vitaminkalana@mail.ru, galina\_afanasenko@mail.ru*

In the structure of childhood morbidity and mortality, perinatal pathology takes first place. With the introduction of the criteria for live birth by WHO, the importance of studying the incidence of premature infants, which are the main or background risk factors for increased morbidity and mortality in children, has grown. Among the pathologies arising in the perinatal period, the leading place is occupied by pathological neonatal jaundice. A study of the course of pregnancy and childbirth, as well as concomitant pathology of the studied children's mothers, was carried out. The aim of the study was to identify the predictive factors for the development of hyperbilirubinemia in premature infants. Parametric descriptive statistics were used. The main group included preterm infants with hyperbilirubinemia  $n = 278$ . The control group consisted of 212 full-term newborns. The selection criteria were indicators of bilirubin in accordance with a nomogram at different gestational periods, an assessment of the ictericity of the skin and mucous membranes according to the Cramer scale, indicators of transcutaneous bilirubinometry, and preservation of hyperbilirubinemia for more than 14 days in full-term and more than 21 days in premature infants. It was revealed that prognostically unfavorable factors during pregnancy are IDA, hypertension, infectious and inflammatory diseases of the genital tract; in childbirth – asphyxia of the newborn, operative labor, induced labor, pre- and eclampsia, cord entanglement, as well as concomitant pathology – diseases of the cardiovascular system and genital tract.

**Keywords:** premature, newborns, risk factors, pathological jaundice, hyperbilirubinemia

Изучение перинатальных заболеваний в Кыргызстане обусловлено тем, что в структуре детской заболеваемости и смертности перинатальная патология вышла на первое место (РМИЦ МЗ КР, 2018). Состояние макро- и микросреды, в которой развивается ребёнок с момента зачатия, а зачастую до зачатия, со стадии прогенеза, определяет в дальнейшем его здоровье и качество жизни. Поэтому перинатальные заболевания следует отнести к эко-ассоциированным. Их объединяют время манифестации, общие предикторы, общие

этиопатогенетические звенья, тяжесть клинического течения и исход [1–3].

С введением критериев живорожденности ВОЗ в стране возросла необходимость изучения проблем недоношенных, которые являются основным или фоновым риск-фактором повышенной заболеваемости и смертности детей [4, 5].

Цель исследования: изучить факторы риска реализации неонатальных патологических желтух у недоношенных детей для расширения и усовершенствования лечебно-профилактических программ.

**Материалы и методы исследования**

Объектом исследования явились 490 новорожденных детей, разделённых на две группы:

1-я группа, основная – 278 недоношенных новорожденных детей с патологической желтухой.

2-я группа, контрольная – 212 доношенных новорожденных с патологической гипербилирубинемией.

Критериями отбора служили показатели билирубина в соответствии с графиком пороговых значений в различные сроки гестации, клинические проявления желтухи по шкале Крамера, показатели транскутанной билирубинометрии и сохранение гипербилирубинемии более 14 дней у доношенных и более 21 дня у недоношенных.

Все данные полученные в ходе исследования были статистически обработаны с помощью прикладного пакета SPSS 16,0. Достоверными результаты считаются при показателе  $p < 0,05$ .

При исследовании применены классификации недоношенности, предложенные ВОЗ по массе при рождении и срокам гестации.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Выявлено, что по срокам гестации преобладали ( $p < 0,001$ ) дети поздние недоношенные (ПН) и умеренно недоношенные (УН). По массе тела большинство

( $p < 0,001$ ) детей рождены с низкой массой тела (НМТ) и недоношенные с нормальной массой тела (ГНМТ). Реже ( $p < 0,01$ ) отмечались недоношенные с очень низкой массой тела (ОНМТ) и глубоко недоношенные (ГН). Экстремально недоношенные (ЭН) с экстремально низкой массой тела (ЭНМТ) выявлялись в единичных случаях (табл. 1).

Нами изучен ряд медико-биологических факторов риска реализации патологических желтух у недоношенных новорожденных детей: возраст матерей, половая принадлежность детей, паритет беременностей и родов, акушерский анамнез и заболеваемость матерей, течение беременностей и родов.

При изучении возраста матерей как фактора риска рождения недоношенных детей с патологическими желтухами установлено, что в основной группе преобладали ( $p < 0,05$ ) матери оптимального (от 20 до 35 лет) фертильного возраста (табл. 2).

Вышеизложенное позволяет заключить, что возрастной риск (юный и старший возраст матерей), характерный для ряда перинатальных заболеваний, не является фактором риска развития патологических желтух у недоношенных детей. Наши данные совпадают и с выводами российских, иранских и индийских исследователей по гипербилирубинемии [6–8].

Гендерный анализ установил, что в основной группе чаще рождались девочки, а в контрольной – мальчики (табл. 3).

**Таблица 1**

Соотношение детей по массе тела и срокам гестации

Масса тела	Проценты	Гестационный возраст	Проценты
ЭНМТ	0,36%	ЭН	3,59%
ОНМТ	9,35%	ГН	11,51%**
НМТ	57,55%***	УН	41,37%***
Недоношенные с нормальной массой тела	32,74%***	ПН	43,53%***
Итого:	278 (100%)	278 (100%)	278 (100%)

Примечание. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

**Таблица 2**

Возраст матерей исследованных групп детей

Группа	Основная		Контрольная	
	Количество	Процент	Количество	Процент
Возраст матери				
До 20 лет	11	3,96%	6	2,83%
20–35 лет	221	79,49%*	157	74,06%
Старше 35 лет	46	16,55%	49	20,28%*
Итого	278	100%	212	100%

Примечание. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Таблица 3

## Гендерное соотношение исследуемых групп детей

Группа	Основная		Контрольная	
	Кол-во	%	Кол-во	%
Женский	141	50,72%*	87	41,04%
Мужской	137	49,28%	125	58,96%*
Итого		100%	212	100%

Примечание. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Таблица 4

## Паритет беременностей и родов у матерей

Группа	Основная		Роды	Контрольная	
	1-я	2-я		1-я	2-я
Беременности	278	212		278	212
1	33,45%	38,21%*	1	37,05%	44,81%**
2	17,27%	22,17%	2	26,26%	24,53%
3 и более	49,28%**	39,62%	3 и более	36,69%*	30,66%
Итого	100%	100%	Итого	100%	100%

Примечание. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Таблица 5

## Акушерский анамнез матерей

Группа	Основная		Контрольная	
	Количество	Процент	Количество	Процент
Патология				
Прерывание беременности	48	34,29%**	25	37,31%*
Выкидыши	41	29,29%**	22	32,84%
Замершая беременность	21	15,00%*	9	13,43%
Преждевременные роды	19	13,57%*	8	11,94%
Аntenатальная гибель плода	6	4,29%	1	1,49%
Внематочная беременность	4	2,85%	2	2,99%
Пузырный занос	1	0,71%	0	0
Итого	140	100%	67	100%

Примечание. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Следовательно, женский пол ребёнка является фактором риска развития патологических желтух недоношенных детей. В Чили же (2019 г.) у доношенных новорожденных с гипербилирубинемией преобладал мужской пол [9].

Установлено, что дети основной группы достоверно чаще, чем дети контрольной, родились от третьих и более беременностей ( $p < 0,01$ ) и родов ( $p < 0,05$ ). В контрольной группе больше ( $p < 0,01$ ) матерей первобеременных и первородящих (табл. 4).

Таким образом, чем больше беременностей и родов у матерей, тем выше риск развития патологических желтух у их недоношенных детей.

Сравнительный анализ акушерского анамнеза выявил более существенную отягощённость у матерей основной группы.

Так в основной группе достоверно значимые осложнения выявлены по пяти патологиям. Это прерывание беременности (мед. аборт) и выкидыши ( $p < 0,01$ ), замершая беременность и преждевременные роды ( $p < 0,05$ ). Antenатальная гибель плода также в 2,8 раз чаще отмечена в основной группе. Только по двум патологиям (прерывание беременности и выкидыши ( $p < 0,05$ )) выявляется отягощённость в контрольной группе. Следовательно, отягощённый акушерский анамнез матерей является значимым предиктором развития патологических желтух у их недоношенных детей (табл. 5).

Общая заболеваемость чаще отмечена у матерей в основной группе ( $p < 0,001$ ). У них в 1,74 раза чаще отмечаются заболевания ССС, достоверно чаще ( $p < 0,05$ ) встречаются заболевания генитального тракта (табл. 6).

Таблица 6

Заболеваемость матерей

Группа	Основная		Контрольная	
	Кол-во	%	Кол-во	%
Заболевания				
Всего	186	69,40%**	82	30,60%
1. Экстрагенитальные				
Анемия	85	75,89%***	36	80,00%
Заболевания ССС	13	11,61%	3	6,67%
Эндокринные нарушения	4	3,57%	3	6,67%
Заболевания ЦНС	4	3,57%	0	0%
Заболевания ЖКТ	3	2,68%	1	2,22%
Заболевания ДС	3	2,68%	2	4,44%
Всего:	112	60,21%*	45	54,89%*
2. Урогенитальные				
Инфекция мочевыводящих путей	10	13,51%	9	24,32%
Генитальные заболевания	64	86,49%***	28	75,68%***
Всего	74	39,78%	37	45,12%

Примечание. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Таблица 7

Течение данных родов

Основная группа	Количество	Проценты
Асфиксия новорожденного	158	46,61%**
Роды оперативные	71	20,94%**
Индукцированные роды	28	8,26%*
Преэклампсия, эклампсия	23	6,79%*
Обвитие пуповины	18	5,31%*
Околоплодные воды: мутные, грязные, зеленые	14	4,13%
Преждевременная отслойка плаценты	13	3,83%
Хориоамнионит	9	2,66%
Патология плаценты	5	1,47%
Итого:	339	100%

Примечание. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

Полученные данные позволяют заключить, что заболеваемость матерей является фактором риска реализации заболевания у их недоношенных детей. Структура заболеваемости матерей детей с гипербилирубинемиями соответствует данным других исследователей [10–13].

Анализ течения данной беременности выявил, что у матерей основной группы чаще отмечались ЖДА (20,41% против 15,43%,  $p < 0,05$ ), в 15 раз чаще – гипертония, в 6 раз чаще ( $p < 0,001$ ) инфекционно-воспалительные заболевания генитального тракта, чем у матерей контрольной группы. Следовательно, патологическое течение беременности матерей является фактором риска развития заболевания у их детей.

Нами проведен анализ течения родов у детей основной группы. Роды основной группы проходили с многочисленной патологией (табл. 7).

Наиболее значимы асфиксия новорожденного, оперативные роды ( $p < 0,01$ ), индуцированные роды, пре- и эклампсия, обвитие пуповины ( $p < 0,05$ ). Таким образом патологическое течение родов у матерей является одним из значимых факторов риска заболевания их детей. Проводимые в Иране исследования (2016 г.) таких закономерностей не выявили и отмечали, что желтуха чаще выявляется у детей, рожденных естественным путем или посредством индуцированных родов [14].

**Заключение**

Резюмируя вышеизложенное, следует констатировать, что имеется множество достоверных медико-биологических факторов риска рождения недоношенных детей с патологическими желтухами. Это экстра- и урогенитальная заболеваемость матерей, паритет беременности и родов, отягощён-

ный акушерский анамнез, патологическое течение беременности и родов. Однако выявление факторов риска не может оценить всю неблагоприятную медико-биологическую ситуацию рождения недоношенных детей с гипербилирубинемией. Необходимо ранжирование факторов риска с привлечением методов доказательной медицины для направленных лечебно-профилактических мероприятий.

#### Список литературы

1. Ullah S., Rahman K., Hedayati M. Hyperbilirubinemia in neonates: types, causes, clinical examinations, preventive measures and treatments: a narrative review article. *Iran J. Public Health*. 2016. no. 45. P. 558–568.
2. Brits H., Adendorff J., Huisamen D., et al. The prevalence of neonatal jaundice and risk factors in healthy term neonates at National District Hospital in Bloemfontein. *Afr. J. Prim Health Care Fam Med*. 2018. vol. 10. no. 1. DOI: 10.4102/phcfm.v10i1.1582.
3. Lee B.K., Le Ray I., Sun J.Y., Wikman A., Reilly M., Johansson S. Haemolytic and nonhaemolytic neonatal jaundice have different risk factor profiles. *Acta Paediatr*. 2016. vol. 105. no. 12. P. 1444–1450.
4. Amos R.C., Jacob H., Leith W. Jaundice in newborn babies under 28 days: NICE guideline 2016 (CG98). *Arch Dis Child Educ Pract Ed*. 2017. vol. 102. No. 4. P. 207–211209.
5. Röllin H.B., Kootbodien T., Channa K., Odland J. Prenatal exposure to cadmium, placental permeability and birth outcomes in coastal populations of South Africa. *PLoS One*. 2015. vol. 10. no. 11. DOI: 10.1371/journal.pone.0142455.
6. Reza Tavakolizadeh, Anahita Izadi, Golnar Seirafi, Leila Khedmat, and Sayed Yousef Mojtahedi. Maternal risk factors for neonatal jaundice: a hospital-based cross-sectional study in Tehran. *Eur J Transl Myol*. 2018 Jul 10. vol. 28. no. 3. P. 7618.
7. Huq S., Hossain S.M., Haque S.M.T., Tarafder M.A. Knowledge Regarding Neonatal Jaundice Management among Mothers: A Descriptive Study Done In a Tertiary Level Hospital of Dhaka City. *Anwer Khan Modern Medical College Journal* 2017 Jul. vol. 8. no. 2. P. 121–127.
8. Лундина Г.В., Отинова А.И. Факторы риска и течение неонатальных желтух у недоношенных и маловесных новорожденных // *Вятский медицинский вестник*. 2015. № 2. С. 66–68.
9. Stephanie Campbell Wagemann, Patricia Mena Nannig. Severe hyperbilirubinemia in newborns, risk factors and neurological outcomes. *Rev. chil. pediatr*. Santiago June 2019. vol. 90. no. 3. P. 267–274.
10. Carolyn G. Scraftford, Luke C. Mullany, Joanne Katz, Subarna K. Khatry, Steven C. LeClerq, Gary L. Darmstadt, James M. Tielsch. Incidence of and Risk Factors for Neonatal Jaundice Among Newborns in Southern Nepal. *Trop Med Int Health*. Nov 2013. vol. 18. no. 11. P. 1317–1328.
11. Maisels M.J., Clune S., Coleman K., Gendelman B., Kendall A., McManus S, et al. The natural history of jaundice in predominantly breastfed infants. *Pediatrics* 2014. vol. 134. P. 340–345.
12. Subhabrata Mitra, Janet Rennie. Neonatal Jaundice: Aetiology, Diagnosis and Treatment. *Br J. Hosp Med (Lond)*. Dec 2017. vol. 78 no. 12. P. 699–704.
13. Yadollah Zahed Pasha, Shaghayegh Alizadeh-Tabari, Ermia Zahed Pasha, Mohammad Zamani. Etiology and therapeutic management of neonatal jaundice in Iran: a systematic review and meta-analysis. *World Journal of Pediatrics*. 2020. no 10. DOI: 10.1007/s12519-020-00339-3.
14. Garosi E., Mohammadi F., Ranjkesh F. The relationship between neonatal jaundice and maternal and neonatal factors. *Iranian J. Neonatol*. 2016. no. 7. P. 37–40.

УДК 616-053.1-009.12

## ЭТИОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И КЛИНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУДОРОГ У НОВОРОЖДЕННЫХ РАЗЛИЧНОГО GESTАЦИОННОГО ВОЗРАСТА

<sup>1</sup>Гурбанова Г.М., <sup>2</sup>Мамедбейли А.К., <sup>3</sup>Рагимова Н.Д.

<sup>1</sup>*Азербайджанский государственный институт усовершенствования врачей имени А. Алиева, Баку;*

<sup>2</sup>*Азербайджанский медицинский университет, Баку;*

<sup>3</sup>*Научно-исследовательский институт педиатрии имени К.Я. Фараджевой, Баку, e-mail: rahimova\_nailya@mail.ru*

Основной целью исследования явилось изучение этиологической структуры и клинических особенностей судорог у новорожденных детей различного гестационного возраста. Проведено ретроспективное исследование 512 новорожденных детей с судорогами различного гестационного возраста с учетом клинико-этиологических, лабораторных и параклинических данных. Ведущими этиологическими факторами, приводящими к развитию симптоматических судорог у новорожденных, являются гипоксически-ишемические, гипоксически-геморрагические, инфекционные поражения ЦНС. У доношенных новорожденных с судорогами направляющим диагнозом служит гипоксически-ишемическое поражение ЦНС. В то же время у недоношенных лидирующей причиной возникновения судорог стали внутрочерепные кровоизлияния и внутриутробные инфекции. Анализ ЭЭГ исследований показал высокую частоту полиморфного типа неонатальных судорог. В основном судорожные состояния появлялись в первые дни жизни, что отражало тяжелые церебральные нарушения. В результате исследования было выявлено, что неонатальные судороги новорожденных на фоне поражения центральной нервной системы характеризуются вовлечением нескольких систем организма в основном с поражением легких, сердца, органов желудочно-кишечного тракта. Полиорганные нарушения с поражением 3 и более органов отмечались у 143 (27,9 ± 2,0%) новорожденных с судорогами и зависели от гестационного возраста детей, чаще преобладали у недоношенных детей. В настоящее время церебральные нарушения, связанные с судорогами, являются актуальной проблемой в неонатальной интенсивной терапии в связи с высокой частотой летальных исходов, формированием эпилепсии, детского церебрального паралича и других тяжелых психоневрологических расстройств в анамнезе. Поэтому исследование, посвященное изучению этиологии и клинических особенностей судорог в неонатальный период, имеет важное значение для проведения своевременных диагностических мероприятий с целью оптимизации лечения и профилактической стратегии.

**Ключевые слова:** неонатальные судороги, этиологические факторы, клинические особенности, гестационный возраст

## ETHIOLOGICAL STRUCTURE AND CLINICAL FEATURES OF SEIZURES IN NEWBORNS OF VARIOUS GESTATIONAL AGE

<sup>1</sup>Gurbanova G.M., <sup>2</sup>Mammadbayli A.K., <sup>3</sup>Rahimova N.J.

<sup>1</sup>*Azerbaijan State Doctors Advanced Institute named after A. Aliyev, Baku;*

<sup>2</sup>*Azerbaijan Medical University, Baku;*

<sup>3</sup>*Scientific Research Institute of Pediatrics named after K.Y. Farajeva, Baku, e-mail: rahimova\_nailya@mail.ru*

The main objective of the research is to study the etiological structure and clinical features of seizures in newborns of different gestational age. A retrospective study of 512 newborns of different gestational age with seizures was carried out taking into account clinical and etiological, laboratory and paraclinical data. The main etiological factors leading to the development of symptomatic seizures in newborns are hypoxic-ischemic, hypoxic-hemorrhagic, infectious lesions of the central nervous system. In full-term newborns with seizures, the orienting diagnosis is hypoxic-ischemic damage of the central nervous system. At the same time, in premature infants, the leading cause of seizures was intracranial hemorrhage and intrauterine infection. Analysis of EEG examination showed a high frequency of the polymorphic type of neonatal seizures. In general, convulsive conditions appeared in the first days of life, which reflected severe cerebral disorders. As a result of the research, detected that neonatal seizures of newborns against a background of damage of the central nervous system are characterized the involvement of several body systems, mainly with damage to the lungs, heart and gastrointestinal tract. Multiple organ dysfunctions with damage to 3 or more organs were observed in 143 (27.9 ± 2.0%) newborns with seizures and depending on gestational age, mostly in premature infants. Currently, due to the high frequency of mortality, the development of epilepsy and cerebral palsy and other severe neuropsychiatric disorders in the catamnesis, cerebral disorders associated with neonatal convulsions are an actual problem in neonatal intensive care. Therefore, a study on the etiology and clinical features of neonatal seizures is important for early diagnostic measures in order to optimize proper treatment and preventive strategies.

**Keywords:** neonatal seizures, etiological factors, clinical features, gestational age

В настоящее время проблема развития неонатальных судорог находится в центре внимания неврологов, педиатров, неонатологов и генетиков. Неонатальные судороги (НС) – одно из самых частых и тяжелых поражений центральной нервной

системы, которые регистрируются в первые 28 дней жизни. Судороги в неонатальном периоде отражают различные пре-, пери-, постнатальные расстройства центральной нервной системы (ЦНС) [1, 2]. Частота встречаемости неонатальных судорог, по мнению различных авторов, составляет 0,7–16,5 на 1000 живорожденных детей. Риск развития неонатальных судорог выше у новорожденных детей с малым сроком гестации и низкой массой тела при рождении [3–5]. Наиболее частыми причинами судорог у новорожденных служат перинатальная гипоксия плода, острая асфиксия новорожденных, внутричерепные кровоизлияния и внутриутробные инфекции [6–8]. Полиэтиологический генез в сочетании с восприимчивостью незрелого мозга к повреждению обуславливают высокую частоту НС [9, 10]. Вторичные ишемические нарушения в центральной нервной системе новорожденных реализуются в виде гипоксически-ишемической энцефалопатии и постгипоксического поражения многих органов и систем [11, 12]. У новорожденных, находящихся в критическом состоянии, прогноз и исход полиорганных нарушений зависят от степени острой церебральной недостаточности и тяжести поражения ЦНС, а также уровня и своевременности оказания медицинской помощи [13, 14]. Таким образом, комплексная оценка анамнестических, клинко-этиологических, лабораторных и параклинических данных являлась весьма актуальным исследованием, позволяющим своевременно диагностировать судороги у новорожденных и проводить целенаправленную патогенетическую терапию для устранения имеющихся органных нарушений и улучшения отдаленных исходов.

Цель исследования: изучение этиологической структуры и клинических особенностей любого судорог у новорожденных детей различного гестационного возраста.

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

Проведен ретроспективный анализ медицинских карт 512 новорожденных с судорогами, находившихся на стационарном лечении в период 2013–2019 гг. в Научно-исследовательском институте педиатрии в отделениях реанимации и интенсивной терапии, патологии новорожденных и недоношенных детей. Включенные в обследование новорожденные были рождены при сроке гестации от 26 до 42 недель ( $37,0 \pm 2,2\%$ ), имели массу тела от 980 г до 5400 г ( $2940,0 \pm 777,4\%$ ), длину тела от 32 до 59 см ( $49,2 \pm 3,1\%$ ). Среди них преобладали доношенные – 322 (62,9%), недоношенных было 190 (37,1%). Из 190 недоношенных со сро-

ком гестации 35–37 недель было 120 новорожденных; 32–34 недели – 13; 29–31 неделя – 13, 25–28 недель – 7 новорожденных. Мальчиков было 349 ( $68,2 \pm 2,1\%$ ), девочек – 163 ( $31,8 \pm 2,1\%$ ).

Всем новорожденным проводили анализ материнского анамнеза, комплексное клинко-инструментальное обследование, по результатам которого было диагностировано поражение ЦНС с наличием синдрома неонатальных судорог. Инструментальные исследования включали в себя ультразвуковое исследование головного мозга (НСГ), обзорное ультразвуковое исследование внутренних органов, эхокардиографию. Проводилось нейросонографическое исследование на аппарате ALOKA SSD – 3500 SV, Medison X-6 с мультимодальным линейным датчиком 7,5 Гц, конвексным датчиком 5 Гц, по показаниям – компьютерная томография головного мозга и магнитно-резонансная томография. Для исследования церебрального кровотока у новорожденных проводили доплерографическое исследование в передней мозговой артерии. Всем новорожденным проведена рентгенография органов грудной клетки и брюшной полости. У детей с судорожным синдромом проводилось ЭЭГ исследование на аппарате NeyronSpektr.

Гематологическое исследование периферической крови включало определение гемоглобина, гематокрита, количества форменных элементов периферической крови. Биохимический анализ крови заключался в определении концентрации общего белка, глюкозы, билирубина и фракций, трансаминазы, электролитов.

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

Комплексный анализ (ретроспективное исследование) 512 новорожденных с судорогами позволил получить клинко-этиологическую характеристику обследуемых детей. Большинство новорожденных – 363 (70,9%  $\pm$  2,0) – поступали из районов Азербайджана, остальные 149 (29,1%  $\pm$  2,0) – из города Баку. Возраст матерей обследованных детей колебался от 19 до 42 лет. Средний возраст матерей составил  $25,2 \pm 0,2$  года. Настоящая беременность наступила впервые у 276 (55,5  $\pm$  2,5%) матерей, вторая беременность была у 121 (24,3  $\pm$  1,9%), третья беременность – у 56 (11,3  $\pm$  1,4%), четвертая беременность – у 27 (5,4  $\pm$  1,0%), пятая и более беременность – у 17 (3,4  $\pm$  0,5%) женщин. Первородящих было 309 (62,2  $\pm$  2,2%), повторнородящих – 208 (37,8%  $\pm$  2,2%), из них вторые роды отмечались у 131 (25,6  $\pm$  1,9%), третьи роды – у 62 (12,5  $\pm$  1,4%), четвер-

тые – у 17 (3,4 ± 0,8%), пятые и более роды – у 3 (0,6 ± 0,3%) женщин. Роды двойней отмечались в 38 (5,2 ± 0,8%) случаях.

Анализ состояния здоровья матерей обследованных новорожденных показал, что экстрагенитальная патология встречалась у 312 (60,9 ± 2,2%) матерей. Среди соматической патологии наиболее часто отмечались заболевания дыхательных путей, в том числе острые респираторные заболевания – в 141 (27,5 ± 2,0%) случае, заболевания сердечно-сосудистой системы (врожденный порок сердца, варикозное расширение вен, вегетососудистая дистония) – в 138 (27,5 ± 2,0%) случаях, заболевания мочевыделительной системы (пиелонефрит, цистит) – в 47 (9,2 ± 1,3%) случаях, заболевания желудочно-кишечного тракта – в 78 (15,2 ± 1,6%) случаях и эндокринная патология – в 57 (11,1 ± 1,4%) случаях.

У большинства матерей новорожденных с судорогами в 309 (60,4 ± 2,2%) случаях имелись гинекологические заболевания, у остальных 203 (39,6 ± 2,2%) матерей этой патологии не было. Среди гинекологических заболеваний преобладали заболевания воспалительного генеза: кольпит, эндометрит, бактериальный вагиноз – 132 (25,8 ± 1,9%), эрозия шейки матки – 84 (16,4 ± 1,6%), миома – 31 (6,1 ± 1,1%), бесплодие 62 (12,1 ± 1,1%).

У 121 (23,6 ± 1,9%) матери новорожденных с судорогами отмечались самопроизвольные выкидыши, у 82 (16,1 ± 1,3%) – аборт (более двух медицинских абортов в анамнезе было у 22 женщин), антенатальная гибель плода наблюдалась у 62 (12,1 ± 1,4%) женщин.

У 276 (53,9 ± 2,2%) матерей отмечались проявления гестоза первой половины беременности, гестоз второй половины беременности (гипертензия с протеинурией, отеки с протеинурией, преэклампсия, эклампсия) выявлен у 152 (53,9 ± 2,2%) матерей. Анемия во время беременности отмечалась у 243 (47,5 ± 2,2%) женщин. У матерей со сроком гестации менее 35 недель анемия встречалась более чем в 55,8%

случаев. У матерей обследованных новорожденных отмечались также осложнения течения родов: длительный безводный промежуток у 32 (6,3 ± 1,1%), преждевременная отслойка плаценты у 57 (11,1 ± 1,4%), патология пуповины у 46 (9,0 ± 1,3%), тазовое предлежание у 34 (6,6 ± 1,1%), слабость родовой деятельности у 72 (14,1 ± 1,5%), стремительные роды у 30 (5,9 ± 1,0). В основном роды проходили естественным путем, оперативные роды отмечались у 155 (30,3 ± 2,0%) женщин. Частота кесарева сечения выше у женщин со сроком беременности 35–42 недели ( $p < 0,001$ ).

Анализ антенатального периода как доношенных, так и недоношенных детей характеризуется значительной частотой осложнений беременности и родов, гинекологических и соматических заболеваний, с несколько преобладанием у матерей недоношенных детей. Согласно нашим исследованиям было выявлено патологическое влияние различных факторов анте- и интранатального периодов развития плода на развитие церебральных нарушений у новорожденных с судорогами.

Результаты исследований показали, что ведущей причиной неонатальных судорог была гипоксически-ишемическая энцефалопатия (295 – 57,6%), следующей по частоте встречаемости являются внутричерепные кровоизлияния (79 – 15,4%). Частота встречаемости внутричерепных кровоизлияний у недоношенных – 34 (17,9% ± 2,8%), что выше, чем у доношенных – 45 (14,0% ± 1,9%). Следующей причиной развития судорог являются внутриутробные инфекции, которые диагностированы у 37 (11,5% ± 1,8%) доношенных и 32 (16,8% ± 2,7%) недоношенных новорожденных. Неонатальные судороги на фоне метаболических нарушений (таких как гипогликемия, гипокальцемия, гипомagneзиемия, гипербилирубинемия) отмечались в среднем в 37 (7,2%) случаях. Пороки развития головного мозга (микроцефалия, порэнцефалия) выявлены у 6 (1,2%) новорожденных.

Таблица 1

Этиологическая структура неонатальных судорог

Этиологические факторы	Доношенные новорожденные с судорогами	Недоношенные новорожденные с судорогами	PearsonChi-SquareTests
Гипоксически-ишемическая энцефалопатия	213 (66,2 ± 2,7%)	108 (59,8% ± 3,6%)	$\chi^2 = 5,436p = 0,365$
Внутричерепные кровоизлияния	45 (14,0 ± 1,9%)	34 (17,9 ± 2,8%)	
Внутриутробные инфекции	37 (11,5 ± 1,8%)	32 (16,8 ± 2,7%)	
Метаболические нарушения	23 (7,1 ± 1,4%)	14 (7,4 ± 1,9%)	
Пороки развития мозга	4 (1,2 ± 0,6%)	2 (1,1 ± 0,7%)	

Согласно проведенным исследованиям в подавляющем большинстве случаев неонатальные судороги имели симптоматический характер и полиэтиологический генез. Гипоксически-ишемические и гипоксически-геморрагические поражения ЦНС – наиболее частая причина развития неонатальных судорог. В то же время инфекционные поражения ЦНС – один из значимых этиологических факторов возникновения судорог у новорожденных.

В группе обследованных детей в тяжелой асфиксии родились 47 ( $9,2 \pm 1,3\%$ ) новорожденных (оценка по шкале Апгар на 1-й минуте составила 0–3 балла), в асфиксии средней тяжести – 86 ( $16,8 \pm 1,7\%$ ) (оценка 4–5 баллов) и в легкой асфиксии – 319 ( $62,3 \pm 2,1\%$ ) (оценка 6–7 баллов). На 5-й минуте жизни 16 ( $3,1 \pm 0,8\%$ ) новорожденных были в тяжелой асфиксии, 42 ( $8,2 \pm 1,2\%$ ) – со среднетяжелой формой асфиксии, и у 199 ( $38,9 \pm 2,2\%$ ) новорожденных оценка по шкале Апгар составила 7–8 баллов. При поступлении в стационар общее состояние в основной группе было тяжелым у 143 ( $27,9 \pm 0,09\%$ ) новорожденных, очень тяжелым – у 287 ( $56,1 \pm 2,2\%$ ), крайне тяжелым – у 82 ( $15,9 \pm 1,6\%$ ) детей. Гипербилирубинемия отмечалась у 146 новорожденных, уровень билирубина составил в среднем  $248,6 \pm 10,3$  ( $19$ – $599$ ) мкмоль/л. Уровень печеночных ферментов (аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспаратаминотрансферазы (АСТ)) был повышен у 69 новорожденных. Уровень АСТ составил  $40,9 \pm 1,0$  ммоль/л (минимальное значение 26 ммоль/л и максимальное значение 72 ммоль/л). Среднее значение АЛТ составило  $44,0 \pm 0,9$  ммоль/л, его уровень колебался от 30 до 78 ммоль/л. Гипопротеинемия отмечалась у 221 пациента. Уровень общего белка составил в среднем  $43,8 \pm 0,7$  ммоль/л. Норма С-реактивного белка составляет 6 мг/л. Повышение уровня С-реактивного белка отмечалось у 181 новорожденного, в среднем составив  $31,8 \pm 1,9$  мг/л, и варьировало в пределах от 3 до 100 мг/л. I группа крови встречалась у 152 ( $31,0 \pm 2,1\%$ ) детей, II группа – у 224 ( $45,6 \pm 2,2\%$ ), III группа – у 94 ( $19,1 \pm 1,8\%$ ), IV группа – у 21 ( $4,3 \pm 0,9\%$ ) ребенка. Rh-фактор(+) отмечался у 441 ( $85,4 \pm 1,5\%$ ), Rh-фактор(–) – у 71 ( $14,1 \pm 1,5\%$ ) новорожденного. Уровень гемоглобина был  $161,1 \pm 3,6$  ( $125$ – $213$ ) г/л, эритроцитов –  $4,6 \pm 0,1 \times 10^6$ /л ( $3,7$ – $6,8$ ), лейкоцитов –  $11,4 \pm 0,2 \times 10^3$ /л ( $3,0$ – $51$ ), тромбоцитов –  $225,8 \pm 12,2 \times 10^3$ /л ( $17,6$ – $269$ ). Изучено содержание электролитов (кальция, калия, натрия, магния, фосфора) в сыворотке крови у новорожденных с судорогами. Гипокальцемия была выявлена у 251 ново-

рожденного с судорогами, уровень кальция в среднем составил  $1,82 \pm 0,01$  ммоль/л (минимальное содержание было 0,83, максимальное содержание – 2,2 ммоль/л). Содержание натрия в сыворотке крови у новорожденных с судорогами (211) было в среднем  $137,1 \pm 0,3$  ммоль/л, варьируя от 127,0 до 157 ммоль/л. Гипомагниемия отмечалась у  $0,69 \pm 0,06$ , диапазон колебаний составил 0,5–1,36 ммоль/л. Уровень калия был  $6,43 \pm 0,64$  ммоль/л ( $1,1$ – $6,7$ ). Гипофосфатемия выявлена у 21 новорожденного, в среднем показатели составили  $1,32 \pm 0,01$  ммоль/л ( $1,25$ – $1,4$ ). Изучение гематологических показателей показало, что содержание гемоглобина было уровень эритроцитов составил  $4,8 \times 10^{12}$ /л ( $0,5$ – $9$ ), уровень лейкоцитов –  $11,4 \pm 0,2 \times 10^9$ /л, уровень тромбоцитов –  $225,8 \pm 12,2 \times 10^9$ /л ( $17,6$ – $960$ ).

В основном судороги развивались на фоне поражения ЦНС. Самыми частыми изменениями были эхографические признаки отека мозга в 178 ( $34,8 \pm 2,1\%$ ) случаях. Гипоксически-геморрагическое поражение ЦНС было выявлено у 141 ( $27,5 \pm 2,0\%$ ) ребенка, из них кровоизлияние I степени – у 101 ( $19,7 \pm 1,8\%$ ), кровоизлияние II степени – у 30 ( $5,9 \pm 1,0\%$ ), III степени – у 10 ( $2,0 \pm 0,6\%$ ), паренхиматозные кровоизлияния – у 4 ( $0,8 \pm 0,4\%$ ), субарахноидальные – у 4 ( $0,8 \pm 0,4\%$ ), субдуральное – у 1 ( $0,2 \pm 0,2\%$ ) новорожденного. Индекс резистентности (IR) в передней мозговой артерии составил в среднем 0,7, варьируя от 0,3 до 1,0. Инфекционное поражение ЦНС (венитрит, менингит) выявлено у 20 ( $3,9 \pm 0,9\%$ ) новорожденных. Расширение желудочковой системы отмечалось у 50 ( $9,8 \pm 1,3\%$ ), гидроцефалия – у 42 ( $8,2 \pm 1,2\%$ ) новорожденных. При НСГ также встречались ишемия мозга у 35 ( $6,8 \pm 1,1\%$ ) детей, кисты (перивентрикулярные, сосудистого сплетения, арахноидальные). Перивентрикулярная лейкомаляция зарегистрирована у 7, минерализационная васкулопатия – у 8 новорожденных.

Согласно электроэнцефалографическим исследованиям в большинстве случаев у 175 ( $34,2\%$ ) новорожденных отмечался полиморфный характер судорог, т.е. сочетание различных видов судорог. Атипичный характер судорог выявлен у 107 ( $20,9\%$ ) новорожденных с преобладанием их у 81 ( $42,6\%$ ) недоношенного новорожденного. Клонические судороги регистрировались у 47 ( $14,6\%$ ) доношенных и 53 ( $27,9\%$ ) недоношенных, в основном у недоношенных со сроком гестации 32–37 недель. Судороги миоклонического характера встре-

чались у 102 (19,9%) новорожденных (76 (23,6%) доношенных против 26 (13,7%) недоношенных). По сравнению с другими видами судорог тонические судороги встречались у 27 (5,3%) детей, из которых большинство составили новорожденные со сроком гестации 38 недель и выше.

лись у 42 (7,5 ± 1,5%) и 20 (10,5 ± 2,2%) доношенных и недоношенных соответственно ( $\chi^2 = 1,436$  p = 0,231). По данным клинико-лабораторного обследования патология мочевыводящей системы выявлена у 32 (6,3 ± 1,1%) новорожденных с судорогами ( $\chi^2 = 0,019$  p = 0,479).

**Таблица 2**

Клинические типы судорожных приступов у новорожденных детей

Типы судорог	Доношенные новорожденные с судорогами	Недоношенные новорожденные с судорогами	
Полиморфные	108 (33,5 ± 2,6%)	67 (35,3 ± 3,5%)	$\chi^2 = 0,158$ p = 0,692
Атипичные	26 (8,1 ± 1,5%)	81 (42,6 ± 3,6%)	$\chi^2 = 86,3$ p < 0,001
Клонические	47 (14,6 ± 2,0%)	53 (27,9 ± 3,3%)	$\chi^2 = 7,37$ p < 0,001
Миоклонические	76 (23,6 ± 2,4%)	26 (13,7 ± 2,5%)	$\chi^2 = 13,4$ p < 0,001
Тонические	24 (7,5 ± 1,5%)	3 (1,6 ± 0,9%)	$\chi^2 = 8,25$ p = 0,004

Дебют судорог в первые 3 суток регистрировался у 212 (65,8%) доношенных и у 114 (60,0%) недоношенных. В период от 3 до 7 дней отмечалось увеличение частоты судорог у 38 (20,0%) недоношенных по сравнению с доношенными – 57 (17,7%). В дальнейшем в период 7 дней и более, т.е. поздний дебют, судороги почти одинаково выявлялись у новорожденных со сроком гестации 38 недель и более в 48 (14,9%) случаях и у 34 (17,9%) новорожденных со сроком гестации 3 недель и ниже.

В нашем исследовании у обследованных новорожденных на фоне церебральных нарушений поражение респираторной системы (ателектазы, пневмония, синдром дыхательных расстройств) отмечалось у 180 (55,9 ± 2,8%) доношенных и у 107 (56,3 ± 3,6%) недоношенных детей ( $\chi^2 = 0,008$  p = 0,927). Поражение сердечно-сосудистой системы регистрировалось в 70 (21,7 ± 2,3%) случаях у доношенных и у 59 (31,1 ± 3,4%) недоношенных новорожденных ( $\chi^2 = 5,499$  p = 0,019). Согласно эхокардиографическим исследованиям у новорожденных с судорогами достоверно чаще встречались открытый артериальный проток, дефект межпредсердной перегородки, дефект межжелудочковой перегородки, открытое овальное окно, а также комбинированные пороки сердца, тетрада Фалло, коарктация аорты. Геморрагические и гематологические нарушения у обследованных новорожденных чаще имели место у недоношенных, составив 45 (14,0 ± 1,9%) случаев ( $\chi^2 = 0,497$  p = 0,136). Патологические изменения желудочно-кишечного тракта в виде таких нозологических форм, как энтероколит, некротический энтероколит, отмеча-

лись у 42 (7,5 ± 1,5%) и 20 (10,5 ± 2,2%) доношенных и недоношенных соответственно ( $\chi^2 = 1,436$  p = 0,231). По данным клинико-лабораторного обследования патология мочевыводящей системы выявлена у 32 (6,3 ± 1,1%) новорожденных с судорогами ( $\chi^2 = 0,019$  p = 0,479).

**Заключение**

На основании проведенного комплексного клинико-лабораторного инструментального исследования было выявлено, что неонатальные судороги характеризуются клиническим и этиологическим полиморфизмом. Анализ материнского анамнеза выявил, что к появлению судорог в неонатальном периоде предрасполагают отягощенные антенатальные и перинатальные факторы, а также их сочетание. Ведущими этиологическими факторами, приводящими к развитию симптоматических судорог у новорожденных, являются гипоксически-ишемические, гипоксически-геморрагические, инфекционные поражения ЦНС. У доношенных новорожденных с судорогами направляющим диагнозом является гипоксически-ишемическое поражение ЦНС. В то же время у недоношенных лидирующей причиной возникновения судорог стали внутричерепные кровоизлияния и внутриутробные инфекции. Анализ ЭЭГ исследований показал высокую частоту полиморфного типа неонатальных судорог. В основном судорожные состояния выявлялись в первые дни жизни, что отражало тяжелые церебральные нарушения. В результате исследования было выявлено, что неонатальные судороги новорожденных на фоне поражения центральной нервной системы характеризуются вовлечением

нескольких систем организма, в основном с поражением легких, сердца, органов желудочно-кишечного тракта, зависят от гестационного возраста, чаще встречаясь у недоношенных детей. Полученные данные свидетельствуют о том, что полиорганные нарушения у новорожденных с судорогами утяжеляют течение неонатального периода и способствуют неблагоприятному исходу. В настоящее время церебральные нарушения, связанные с судорогами, являются актуальной проблемой в неонатальной интенсивной терапии в связи с высокой частотой смертности, формированием эпилепсии, детского церебрального паралича и других тяжелых психоневрологических расстройств в анамнезе. Поэтому исследование, посвященное изучению этиологии и клиническим особенностям судорог в неонатальный период, имеет важное значение для проведения своевременных диагностических мероприятий с целью оптимизации лечения и профилактической стратегии.

#### Список литературы

1. Pressler R., Mangum B. Newly emerging therapies for neonatal seizures. *Seminars in Fetal & Neonatal Medicine* 2013. V. 18. P. 216–223.
2. Abend N.S., Jensen F.E., Inder T.E., Volpe J.J., Volpe J.J., Inder T.E., Darras B.T., de Vries L.S., duPlessis A.J., Neil J.J., Perlman J. Neonatal seizures. In: *Volpe's Neurology of the newborn*. Eds. M. Elsevier. 2018. P. 275–324.
3. Baumer F.M., Wusthoff C.J., Stevenson D.K., Benitz W.E., Sunshine Ph., Hintz S.R., Ruzin M.L. Neonatal seizures: evaluation, treatment and prognosis. In: *Fetal and neonatal brain injury*. Eds. 5th ed. Cambridge University Press. 2018. P. 655–681.
4. Vasudevan C., Levene M. Epidemiology and aetiology of neonatal seizures. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2013. V. 18 (4). P. 185–191.
5. Sands T.T., Mc Donough T.L. Recent Advances in Neonatal Seizures. *Curr. Neurol. Neurosci. Rep.* 2016. V. 16 (10). P. 92.
6. Айкарди Ж., Бакс М., Гиллберг К. Заболевания нервной системы у детей / Пер. с англ.; под ред. А.А. Скоромца. М., 2013. 1036 с.
7. Блинов Д.В. Объективные методы определения тяжести и прогноза перинатального гипоксически-ишемического поражения ЦНС // *Акушерство, гинекология и репродукция* 2011. № 2. С. 5–12.
8. Glass H. Neonatal seizures: advances in mechanisms and management. *Clin. Perinatol.* 2014. V. 41 (1). P. 177–190.
9. Boylan G., Stevenson N., Vabhatalo S. Monitoring neonatal seizures. *Seminars in Fetal & Neonatal Medicine.* 2013. V. 18. P. 202.
10. Hart A., Pilling E., Alix J. Neonatal seizures—part 1: Not everything that jerks, stiffens and shakes is a fit. *Arch. Dis. Child. Educ. Pract. Ed.* 2015 V. 100. P. 170–175.
11. Александрович Ю.С., Орел В.И., Нурмагамбетова Б.К., Пшениснов К.В., Паршин Е.В. Факторы риска развития синдрома полиорганной недостаточности у новорожденных // *Тольяттинский медицинский консилиум*. 2011. № 3–4. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.critical.ru/toliatti/page.php?chapter=2011\\_03&ref=03](https://www.critical.ru/toliatti/page.php?chapter=2011_03&ref=03) (дата обращения: 25.06.2020).
12. Соколовская М.А. Факторы риска и профилактика развития синдрома полиорганной недостаточности у новорожденных с первичным поражением центральной нервной системы и легких: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Томск, 2008. 164 с.
13. Bhagat I., Sarkar S. Multiple Organ Dysfunction During Therapeutic Cooling of Asphyxiated Infants *Neoreviews*. 2019. V. 20(11). P. e653–e660. DOI: 10.1542/neo.20-11-e653.
14. Polglase G.R., Ong T., Hillman N.H. Cardiovascular Alterations and Multiorgan Dysfunction After Birth Asphyxia. *Clin Perinatol.* 2016. Vol. 43. № 3. P. 469–483.

УДК 617.52-007.1-089

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДБОРОДОЧНОГО ИМПЛАНТАТА ПРИ КОРРЕКЦИИ ОККЛЮЗИИ III КЛАССА ПО ЭНГЛЮ

Ешиев Д.А., Ешиев А.М.

*Ошская межобластная объединенная клиническая больница, Ош,  
e-mail: eshiev-abdyrakhman@rambler.ru*

В статье приведены данные, полученные при исследовании эффективности использования подбородочного имплантата при мезиальном прикусе. В исследовании участвовали 75 человек с аномалией прикуса III класса по Энглю, из которых 49 были женщины и 26 – мужчины. Возраст пациентов колебался от 12 до 21 года. Исследование проводилось на базе Ошской межобластной объединенной клинической больницы в отделении челюстно-лицевой хирургии. Для сравнения эффективности применения подбородочного имплантата в контрольной группе (20 человек) была использована подбородочная праща, имеющая также эффект исправления мезиального прикуса. Непосредственно подбородочный имплантат был использован у остальных 55 пациентов. До начала лечения в обеих группах были проведены необходимые диагностические мероприятия, а также учтены эстетические пожелания пациента. В результате исследования было доказано преимущество использования подбородочного имплантата по сравнению с применением подбородочной пращи. Результаты исследования за 3 месяца показали, что использование как подбородочного имплантата, так и подбородочной пращи более эффективно в период роста скелета. В данный период легче задерживался рост нижней челюсти по сравнению с более взрослыми пациентами. Следовательно, чем выше возраст, тем менее эффективны примененные нами методы лечения окклюзии III класса по Энглю.

**Ключевые слова:** неправильный прикус, прогения, мезиальный прикус, гнатическая хирургия, ортодонтия, челюстно-лицевая хирургия

## USE OF CHINDOUT IMPLANT IN CORRECTION OF OCCLUSION OF ENGE CLASS III

Eshiev D.A., Eshiev A.M.

*Osh Interregional Joint Clinical Hospital, Osh, email: eshiev-abdyrakhman@rambler.ru*

The article presents the data obtained in the study of the effectiveness of the use of the chin implant with a mesial bite. The study involved 75 people with anomalies of occlusion of the 3rd grade according to Engle, 49 of which were women and 26 men. The age category of patients ranged from 12 to 21 years. The study was conducted on the basis of the Osh Interregional Joint Clinical Hospital in the Department of Oral and Maxillofacial Surgery. To compare the effectiveness of the use of the chin implant in the control group (20 people), a chin sling was used, which also has the effect of correcting the mesial bite. A direct chin implant was used in the remaining 55 patients. Before treatment, the necessary diagnostic measures were carried out in both groups, and the patient's aesthetic wishes were taken into account. The study proved the advantage of using the chin implant compared to the method using the chin sling. The results of the study for 3 months showed that the use of both the chin implant and the chin sling is more effective during the period of skeleton growth. During this period, the growth of the lower jaw was more easily delayed compared with older patients. Therefore, the higher the age, the less effective the methods of treatment of Engle III-class occlusion according to our method.

**Keywords:** malocclusion, progeny, mesial occlusion, gnatic surgery, orthodontics, maxillofacial surgery

Своевременно начатое лечение мезиального прикуса и правильный выбор его тактики определяют эффективность полученных результатов. От достигнутых результатов лечения напрямую зависят формирование прикуса и функционирование зубочелюстной системы в целом, что также отражается на работе других органов и систем организма. Распространенность данной патологии, по данным литературных источников, варьирует от 30% до 65% среди аномалий развития челюстей [1–3].

Для решения вопросов, возникающих при лечении мезиального прикуса, предложено множество разных методов, в последнее время включающих в себя применение конструкций, непосредственно крепящихся на костную составляющую челюстей [4, 5].

Одной из таких конструкций является использованный нами подбородочный имплантат для лечения аномалий развития челюстей III класса по классификации Энгля, устанавливаемый модифицированной методикой.

Цель исследования: изучить эффективность лечения мезиального прикуса с помощью подбородочного имплантата.

### Материалы и методы исследования

Нами было проведено лечение пациентов с мезиальной окклюзией (аномалия III класса по Энглю): 75 человек (49 женщин и 26 мужчин), женщин в 1,8 раза больше, чем мужчин. Возраст пациентов колебался от 12 до 21 года. Все пациенты разделены на 2 подгруппы: основную –

55 (73,3%) человек и группу сравнения – 20 (26,7%) человек.

Для наилучшего сравнения эффективности методов лечения пациенты из основной и сравниваемой групп были одинаково распределены с учетом возрастных особенностей. В основной группе 27 человек 12–15 лет, 18 человек 16–18 лет, 10 человек 19–21 года, в группе сравнения 16 человек 12–15 лет и 4 человека 16–18 лет, так как пациенты взрослого возраста отказались носить подбородочную пращу.

В основной подгруппе (n = 55) лечение проводилось с использованием способа дистального прикуса по нашей методике (патент КР № 2180 от 31.12.2019). Процесс осуществлялся следующим образом: после обезболивания преддверия полости рта производился разрез по переходной складке нижней челюсти длиной 5 см, затем отслаивался слизисто-надкостничный лоскут, обнажая подбородочную область нижней челюсти. После устанавливался подбородочный имплантат и фиксировался четырьмя винтами к костной ткани, сверху укладывался слизисто-надкостничный лоскут, и узловыми швами рана закрывалась таким образом, чтобы крючки подбородочного имплантата параллельно с двух сторон оставались снаружи для дальнейшей фиксации на них резиновой тяги: второй конец крючков фиксировался на установленных кольцах на шестых молярах верхней челюсти с обеих сторон.

После операции подборочные мини-пластины были загружены. Эластики класса III создавали начальное усилие около 150 г с каждой стороны, увеличивая его до 200 г после 1 месяца тяги и до 250 г – через 3 месяца. Пациентов просили заменять резинку

по крайней мере один раз в день и носить конструкцию 24 часа в день.

В сравниваемой подгруппе (n = 20) применялась подборочная праща для предотвращения роста нижней челюсти. Способ осуществлялся следующим образом: на голову надевалась шапочка, состоящая из двух ремней, и соединялась с чашечкой для подбородка резиновыми ремнями с регулировкой длины. С помощью подборочной пращи достигаются:

- 1) изменение направления роста нижней челюсти;
- 2) смещение нижней челюсти кзади;
- 3) задержка роста нижней челюсти;
- 4) ремоделирование нижней челюсти и височно-нижнечелюстного сустава.

В критерии исследования этих групп были включены следующие факторы:

- умеренный / тяжелый класс III: WITS  $\leq -2,0$  мм;
- возраст от 12 лет до 21 года;
- отношение переднего перекрестного прикуса или резца к краю, молярное отношение класса III.

Всем пациентам проводились цефалометрические исследования в боковых проекциях до и после лечения.

#### Результаты исследования и их обсуждение

##### *Сравнительный анализ результатов лечения с применением подбородочного имплантата и подбородочной пращи*

После проведения цефалометрического анализа всех пациентов выведены усредненные значения величин (табл. 2), с учетом которых в дальнейшем планировалось сравнение результатов лечения в каждой группе.

**Таблица 1**

Усредненные показатели цефалометрического анализа пациентов сравниваемой группы до начала лечения

Величина	Норма	Значение	Отклонение
SN-SpaSpp	$7 \pm 3^0$	$4,8 \pm 3,8^0$	$1,2 \pm 3,8^0$
ANSPNS-MeGo	$28 \pm 4^0$	$33,1 \pm 3,8^0$	$2,7 \pm 3,8^0$
N-S-Gn (ось Y)	$66 \pm 3^0$	$65,6 \pm 4,2^0$	$1,5 \pm 4,2^0$
SNA	$82 \pm 3^0$	$78,8 \pm 3,3^0$	$2,5 \pm 3,3^0$
SNB	$79 \pm 3^0$	$85,5 \pm 3,4^0$	$2,9 \pm 3,3^0$
ANB	$3 \pm 2^0$	$6,7 \pm 3,7^0$	$3,7 \pm 3,8^0$
ar-Go-Me	$127 \pm 5^0$	$137,2 \pm 6,3^0$	$6,1 \pm 6,3^0$
NS-Ba	$127 \pm 5^0$	$129,2 \pm 5,0^0$	$1,2 \pm 3,1^0$
Max1-ANSPNS	$109 \pm 6^0$	$116,3 \pm 5,8^0$	$3,3 \pm 5,8^0$
Mand1-Me-Go	$92 \pm 5^0$	$71,3 \pm 8,3^0$	$12,7 \pm 8,3^0$
Max1-Mand1	$131 \pm 7^0$	$140,9 \pm 10,8^0$	$4,9 \pm 10,8^0$

**Таблица 2**

Средние показатели цефалометрических величин обеих групп исследования

Величина	Норма	Среднее значение	Отклонение
SN-SpaSpp	$7 \pm 3^0$	$4,8 \pm 3,8^0$	$2,2 \pm 3,8^0$
ANSPNS-MeGo	$28 \pm 4^0$	$33,1 \pm 3,8^0$	$5,1 \pm 3,8^0$
N-S-Gn (ось Y)	$66 \pm 3^0$	$65,6 \pm 4,2^0$	$1,6 \pm 4,2^0$
SNA	$82 \pm 3^0$	$78,8 \pm 3,3^0$	$3,2 \pm 3,3^0$
SNB	$79 \pm 3^0$	$85,5 \pm 3,4^0$	$6,5 \pm 3,4^0$
ANB	$3 \pm 2^0$	$6,7 \pm 3,7^0$	$3,7 \pm 3,7^0$
ar-Go-Me	$127 \pm 5^0$	$137,2 \pm 6,3^0$	$10,2 \pm 6,3^0$
NS-Ba	$127 \pm 5^0$	$129,2 \pm 5,0^0$	$2,2 \pm 5,0^0$
Max1-ANSPNS	$109 \pm 6^0$	$116,3 \pm 5,8^0$	$7,3 \pm 5,8^0$
Mand1-Me-Go	$92 \pm 5^0$	$71,3 \pm 8,3^0$	$21,3 \pm 8,3^0$
Max1-Mand1	$131 \pm 7^0$	$140,9 \pm 10,8^0$	$9,9 \pm 10,8^0$

**Таблица 3**

Усредненные показатели цефалометрического анализа пациентов основной группы по истечении 3 месяцев лечения

Величина	Норма	Значение	Отклонение
SN-SpaSpp	$7 \pm 3^0$	$4,9 \pm 3,8^0$	$2,1 \pm 3,8^0$
ANSPNS-MeGo	$28 \pm 4^0$	$32,9 \pm 3,8^0$	$4,9 \pm 3,8^0$
N-S-Gn (ось Y)	$66 \pm 3^0$	$65,7 \pm 4,2^0$	$1,7 \pm 4,2^0$
SNA	$82 \pm 3^0$	$79,2 \pm 3,3^0$	$2,8 \pm 3,3^0$
SNB	$79 \pm 3^0$	$85,1 \pm 3,4^0$	$6,1 \pm 3,3^0$
ANB	$3 \pm 2^0$	$6,2 \pm 3,7^0$	$3,2 \pm 3,8^0$
ar-Go-Me	$127 \pm 5^0$	$135,2 \pm 6,3^0$	$8,2 \pm 6,3^0$
NS-Ba	$127 \pm 5^0$	$128,8 \pm 5,0^0$	$1,8 \pm 3,1^0$
Max1-ANSPNS	$109 \pm 6^0$	$115,7 \pm 5,8^0$	$6,7 \pm 5,8^0$
Mand1-Me-Go	$92 \pm 5^0$	$73,6 \pm 8,3^0$	$18,4 \pm 8,3^0$
Max1-Mand1	$131 \pm 7^0$	$138,9 \pm 10,8^0$	$7,9 \pm 10,8^0$

Для проведения сравнительного анализа исправления окклюзии III класса по Энглю у 75 пациентов проводился анализ данных цефалометрии по истечении 3, 6, 9 месяцев от начала лечения. В статье будут обсуждены результаты изменений, произошедших за 3-месячный срок лечения.

Из табл. 3 видно, что уже на 3-й месяц лечения применение подбородочного имплантата вызывает изменения параметров цефалометрии. В среднем за 3 месяца лечения основные сагиттальные углы цефалометрии изменились на  $\pm 0,43^0$ .

Из табл. 4 видно, что у пациентов в возрастных группах 12–15 лет и 16–18 лет показатели нарушенного прикуса более выражены по сравнению с возрастной группой 19–21 года.

Результаты исследования через 3 месяца показали, что использование как подбородочного имплантата, так и подбородочной пращи более эффективно в период роста скелета. В данный период легче задерживался рост нижней челюсти по сравнению

с более взрослыми пациентами. Следовательно, чем выше возраст, тем менее эффективны примененные нами методы лечения окклюзии III класса по Энглю. Разница эффективности результатов применения подбородочного имплантата в различных возрастных категориях показана в табл. 5.

По результатам цефалометрического анализа за 3 месяца лечения пациентов основной группы в зависимости от возраста видно, что среднее значение угла SNA увеличилось до  $79,5 \pm 3,3^0$ , при этом значительные изменения были в возрастных категориях 12–15 лет и 16–18 лет. В возрастной категории 19–21 года особо значимых изменений не наблюдалось. Следовательно, по данным результатов лечения на 3-й месяц протракция верхней челюсти у пациентов возрастной категории 19–21 года в основной группе значительно меньше по сравнению с пациентами возрастной группы 12–15 лет и незначительно ниже, чем у больных возрастной категории 16–18 лет.

Таблица 4

Распределение основных характеризующих прикус величин в зависимости от возрастной категории

Величина \ Возраст	12–15 лет	16–18 лет	19–21 год
SNA	80,5 ± 3,3 <sup>0</sup>	78,9 ± 3,3 <sup>0</sup>	77,0 ± 3,3 <sup>0</sup>
SNB	82,3 ± 3,3 <sup>0</sup>	83,2 ± 3,3 <sup>0</sup>	80,2 ± 3,3 <sup>0</sup>
ANB	9,4 ± 3,8 <sup>0</sup>	8,3 ± 3,8 <sup>0</sup>	7,2 ± 3,8 <sup>0</sup>
ar-Go-Me	135,9 ± 6,3 <sup>0</sup>	133,5 ± 6,3 <sup>0</sup>	133,2 ± 6,3 <sup>0</sup>

Таблица 5

Основные показатели цефалометрии пациентов основной группы, распределенные по возрастам, через 3 месяца

Величина \ Возраст	12–15 лет	16–18 лет	19–21 года
SNA	77,5 ± 3,3 <sup>0</sup>	81,5 ± 3,3 <sup>0</sup>	79,5 ± 3,3 <sup>0</sup>
SNB	82,2 ± 3,3 <sup>0</sup>	83,3 ± 3,3 <sup>0</sup>	80,2 ± 3,3 <sup>0</sup>
ANB	9,1 ± 3,8 <sup>0</sup>	8,2 ± 3,8 <sup>0</sup>	7,1 ± 3,8 <sup>0</sup>
ar-Go-Me	135,2 ± 6,3 <sup>0</sup>	132,9 ± 6,3 <sup>0</sup>	133,1 ± 6,3 <sup>0</sup>

В основной группе при применении подбородочного имплантата и в группе сравнения с применением подбородочной пращи в сагиттальной плоскости отмечалось изменение углов SNA, SNB относительно показателей нормы (табл. 4). Наряду с этим задержка в вертикальном росте нижней челюсти в основной группе имела значительное различие по сравнению с пациентами в сравниваемой группе. В основной группе показатели AR-GO-ME, N-GO-ME значительно уменьшались по сравнению со сравниваемой группой, что свидетельствовало о задержке роста нижней челюсти и трансформации типа роста. За счет этого тенденция к росту нижней челюсти достоверно ниже у пациентов с подбородочным имплантатом, чем у пациентов, носящих подбородочную прашу. Молярное соотношение в основной группе улучшилось в среднем на 1,4 мм, отмечается значительная разница проклинирования нижних резцов (до 2,4°) по сравнению с пациентами сравниваемой группы.

В результате в последующем на 6-й и 9-й месяцы контрольного осмотра и анализа цефалометрических показателей, диагностических моделей изменения протекали с одинаково стабильной интенсивностью, а у пациентов возрастной категории 12–15 лет изменения шли намного быстрее. Этот факт в свою очередь доказывает, что применение ортодонтических методов лечения аномалий зубочелюстной системы в возрасте формирования раннего постоянного прикуса более эффективно.

Обязательной в исследовании являлась комплексность использования аппаратов для быстрого расширения верхней челюсти совместно с подбородочным имплантатом и пращой, за счет этого у пациентов с недоразвитием верхней челюсти, когда дополнительно использовались аппараты быстрого расширения верхней челюсти, протракция верхней челюсти в поздний период смешанного прикуса была намного выше, чем у пациентов с постоянным прикусом. Средняя разница протракции верхней челюсти на 3-й месяц лечения в основной группе составляла 1,2–2,4 мм, а также показатели числа ВИТС в основной группе были на 0,5–1,2 мм больше.

#### Заключение

Таким образом, результатами данного исследования подтверждается эффективность применения подбородочного имплантата по сравнению с пращой, которую пациенты часто отказывались носить по причине эстетического дискомфорта.

При сравнении двух методов лечения некоторые клинические аспекты заслуживают особого внимания. Подбородочная праша неудобна в использовании и вызывает дискомфорт при ношении, а подбородочный имплантат является более приемлемым в этом плане. Однако установка подбородочного имплантата требует хирургического вмешательства, что вызывает опасение пациентов. Вследствие этого необходимо проведение дальнейших долгосрочных исследований.

**Список литературы**

1. Ешиев А.М., Ешиев Д.А., Таалайбеков Н.Т. Костная аутопластика альвеолярного отростка при врожденных расщелинах с последующим ортодонтическим лечением // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 11. С. 362–364.
2. Набиев Ф.Х. Комплексный подход к лечению больных с зубочелюстными аномалиями, сопровождающимися нарушениями и эстетическими деформациями носа // Стоматология. 2010. № 6. С. 47–53.
3. Андреева О.В., Анохина А.В., Краснов М.В., Загребая Е.А., Аbruкова А.В., Саваскина Е.Н. Медико-генетическое консультирование в стоматологии // Вестник Чувашского университета. 2011. № 3. С. 262–268.
4. Шульженко В.И., Гушина С.С., Верапатвелян А.Ф. Интеграция ортодонтического лечения в период постоянного прикуса в комплексной реабилитации детей-инвалидов с односторонним сквозным несращением губы и нёба // Кубанский научный медицинский вестник. 2013. № 6. С. 195–198.
5. Александрова Ю.М., Мухина А.Д. Исправление зубочелюстных деформаций у взрослых // Проблемы ортопедической стоматологии. 1970. № 4. С. 150–155.

УДК 616-006

## ВЗАИМОСВЯЗЬ АКТИВНОСТИ ЭКСПРЕССИИ АТИПИЧЕСКИХ ИЗОФОРМ ПРОТЕИНКИНАЗЫ C С МЕТИЛИРОВАНИЕМ ПРОМОТЕРА ГЕНА MGMT И КО-ДЕЛЕЦИЕЙ 1P/19Q В ДИФFUЗНЫХ ГЛИОМАХ

Никитин П.В., Рыжова М.В., Галстян С.А., Хохлова Е.А.

ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии имени акад. Н.Н. Бурденко», Москва, e-mail: redseadog@gmail.com

Все чаще молекулярные факторы становятся предметом не только для фундаментальных научных работ, но также для диагностических разработок в практической клинической плоскости. В рамках предыдущих работ нам довелось показать, что протеинкиназа М $\zeta$  (ПК М $\zeta$ ) и протеинкиназа C iota (ПК Ci) принимают непосредственное участие в канцерогенезе диффузных глиом, в то же время данные молекулярные факторы взаимосвязаны с выживаемостью пациентов. В рамках данной работы проведено дополнительное сравнительное изучение взаимосвязи активности экспрессии ПК М $\zeta$  (АЭ ПК М $\zeta$ ) и ПК Ci (АЭ ПК Ci) с метилированием промотера гена MGMT, в диффузных астроцитомах (ДА) и анапластических астроцитомах (АА), глиобластомах (ГБ) а также олигодендроглиомах и анапластических олигодендроглиомах, и с ко-делецией 1p/19q в олигодендроглиомах и анапластических олигодендроглиомах на материале операционных биопсий пациентов. Было выявлено, что АЭ ПК М $\zeta$  статистически значимо выше в ДА, АА и ГБ, а также олигодендроглиомах без метилирования промотера гена MGMT по сравнению с опухолями такого же гистогенетического происхождения, но с наличием метилирования. Тем не менее АЭ ПК Ci статистически значимо выше только в ГБ с отсутствием метилирования промотера гена MGMT по сравнению с ГБ с наличием метилирования, в то время как в остальных разновидностях диффузных глиом различий не выявлено. Также не различаются по АЭ ПК М $\zeta$  и АЭ ПК Ci олигодендроглиомы и анапластические олигодендроглиомы с наличием и отсутствием ко-делеции 1p/19q. Таким образом, мы показали наличие фундаментальной взаимосвязи между метилированием промотера гена MGMT и активностью атипических изоформ протеинкиназы C, что не только углубляет наши фундаментальные представления, но также расширяет горизонты для практических разработок.

**Ключевые слова:** протеинкиназа М $\zeta$ , протеинкиназа C iota, диффузная астроцитома, метилирование MGMT, олигодендроглиома

## CORRELATION BETWEEN THE EXPRESSION ACTIVITY OF ATYPICAL PROTEIN KINASE C ISOFORMS WITH METHYLATION OF THE MGMT GENE PROMOTER AND CO-DELETION OF 1P/19Q IN DIFFUSE GLIOMAS

Nikitin P.V., Ryzhova M.V., Galstyan S.A., Khokhlova E.A.

Burdenko Neurosurgical Institute, Moscow, e-mail: redseadog@gmail.com

More and more often, molecular factors are becoming a subject not only for fundamental scientific developments, but also for diagnostic developments in the practical clinical plane. In previous studies, it was shown that protein kinase М $\zeta$  (PK М $\zeta$ ) and protein kinase C iota (PK Ci) are directly involved in the carcinogenesis of diffuse gliomas, while these molecular factors are interrelated with patient survival. Within the framework of this study, an additional comparative study of the relationship between the expression activity of PK М $\zeta$  (PK М $\zeta$  EA) and PK Ci (PK Ci EA) with methylation of MGMT gene promoter in diffuse astrocytomas (DA) and anaplastic astrocytomas (AA), glioblastomas (GB), and also oligodendrogliomas and anaplastic oligodendrogliomas, and with 1p / 19q co-deletion in oligodendrogliomas and anaplastic oligodendrogliomas on patient biopsies. It was found that the PK М $\zeta$  EA was statistically significantly higher in DA, AA, and GB, as well as in oligodendrogliomas without methylation of MGMT gene promoter as compared with tumors of the same histogenetic origin, but with methylation. Nevertheless, the PK Ci EA was statistically significantly higher only in unmethylated GB compared to methylated GB, while no differences were found in other types of diffuse gliomas. Also, oligodendrogliomas and anaplastic oligodendrogliomas with the presence and absence of 1p/19q co-deletion do not differ in the PK М $\zeta$  EA and PK Ci EA. Thus, we have shown the existence of a fundamental relationship between methylation of MGMT gene promoter and the activity of atypical protein kinase C isoforms, which not only deepens our fundamental concepts, but also broadens the horizons for practical development.

**Keywords:** protein kinase М $\zeta$ , protein kinase C iota, diffuse astrocytoma, MGMT methylation, oligodendroglioma

Молекулярные свойства все больше привлекают к себе внимание при диагностике новообразований, постепенно переходя из разряда фундаментально-научных изысканий в практическую плоскость. Непосредственным отражением данного процесса являются современные классификации ВОЗ опухолей различных локализаций, в том числе опухолей центральной нервной системы (ЦНС). В частности, это касается

и одной из самых часто встречающихся категорий новообразований данной области – диффузных глиальных опухолей [1]. В рамках существующей классификации 2016 г. выделен ряд молекулярных факторов, имеющих принципиальное диагностическое значение и включенных в названия и определения нозологических форм [2].

В предшествующих работах нами проведено исследование по участию атипических

изоформ протеинкиназы С, в частности протеинкиназы М $\zeta$  (ПК М $\zeta$ ) и протеинкиназа С iota (ПК Сi), в патогенезе диффузных глиом. Более того, мы также охарактеризовали особенности влияния данных факторов на прогноз пациентов с данными нозологиями [3]. Данные протеинкиназы характеризуются тем, что не требуют для своей активации ни Ca<sup>2+</sup>, ни диацилглицерола [4]. Притом рассматриваемые протеинкиназы характеризуются более высокой каталитической активностью, являются абсолютно мозгоспецифичными и обладают свойством самоподдержания собственной активности, что дает возможность автономного функционирования данных протеинкиназ [5].

Ранее мы подробно охарактеризовали экспрессию ПК М $\zeta$  и ПК Сi в диффузных астроцитомах (ДА), анапластических астроцитомах (АА) и глиобластомах (ГБ), установив взаимосвязь с наличием одного из ключевых молекулярно-генетических событий в данных новообразованиях в виде мутации в генах *IDH1* и *IDH2*. Тем не менее помимо мутаций в генах *IDH1* и *IDH2* существуют и другие важные молекулярные события в диффузных глиомах, которые либо включены в классификацию ВОЗ, либо упоминаются в ней и обладают выраженной прогностической ценностью, в частности ко-делеция 1p/19q и метилирование промотора гена *MGMT*. Ко-делеция участков хромосом 1p/19q является своего рода диагностическим маркером, указывающим на две родственные в гистогенетическом плане формы новообразований, получивших название олигодендроглиомы и анапластические олигодендроглиомы. Наличие указанного молекулярного события является важнейшим признаком данных опухолей и определяет более благоприятный прогноз в сравнении с аналогичными глиомами астроцитарного гистопатологического ряда [6].

Важным прогностическим значением обладает также и статус метилирования промотора гена *MGMT*, который наряду с мутацией в генах *IDH1* и *IDH2* входит в диагностический минимум молекулярного обследования диффузных глиальных опухолей. Наличие метилирования промотора гена *MGMT* ассоциировано с рядом молекулярных особенностей данных опухолей. Кроме того, рассматриваемая молекулярная модификация сопровождается существенно лучшей выживаемостью пациентов, а также лучшим ответом на химиотерапию [6]. В рамках настоящей работы мы решили проанализировать взаимосвязь данных молекулярных факторов с продукцией ПК М $\zeta$  и ПК Сi.

Целью настоящей работы явилось изучение взаимосвязи активности экспрессии

ПК М $\zeta$  и ПК Сi со статусом метилирования промотора гена *MGMT* и ко-делецией 1p/19q в диффузных глиомах.

### Материалы и методы исследования

#### Группа для исследования

В рамках данной работы были сформированы несколько групп пациентов, при этом все пациенты подвергались хирургическому вмешательству в НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко в 2016–2018 гг. Для изучения влияния метилирования промотора гена *MGMT* были сформированы шесть групп, которые сравнивались попарно друг с другом, группы формировались по принципу патогистологического и молекулярного родства опухолей и включали в себя группу ДА и АА с наличием метилирования промотора гена *MGMT* (ДА и АА *MGMT*-meth), группу ДА и АА без метилирования промотора гена *MGMT* (ДА и АА *MGMT*-unmeth), ГБ с наличием метилирования промотора гена *MGMT* (ГБ *MGMT*-meth), ГБ без метилирования промотора гена *MGMT* (ГБ *MGMT*-unmeth), олигодендроглиомы и анапластические олигодендроглиомы с наличием метилирования промотора гена *MGMT* (олигодендроглиомы *MGMT*-meth), олигодендроглиомы и анапластические олигодендроглиомы без метилирования промотора гена *MGMT* (Олигодендроглиомы *MGMT*-unmeth), в состав каждой из групп вошло по 30 образцов пациентов, причем в группах с двумя видами опухолей количество образцов между ними распределялось поровну. Диагноз был подтвержден при проведении патогистологического и молекулярно-генетического исследований тремя опытными патологами. Для определения статуса метилирования применялся метод метил-специфической ПЦР. Для исследования значимости ко-делеции 1p/19q были сформированы дополнительные две группы по 30 пациентов, в первую группу включались образцы пациентов с диагнозом олигодендроглиома и анапластическая олигодендроглиома с наличием ко-делеции 1p/19q, во вторую группу – пациенты с аналогичными диагнозами без ко-делеции 1p/19q. Наличие ко-делеции 1p/19q устанавливали с помощью исследования копийности данных хромосом с использованием метода флуоресцентной гибридизации *in situ*, полученные препараты анализировались патологами с опытом работы с флуоресцентными препаратами.

#### Проведение иммуногистохимического исследования

При проведении иммуногистохимического исследования из парафиновых бло-

ков с фиксированными в них образцами опухолей изготавливали срезы толщиной 3 мкм, далее депарафинировали данные образцы с использованием ксилола и повторно гидратировали с помощью различных концентраций этанола, затем срезы высушивали в термостате при 45 °С. После того проводили инкубацию с кроличьими моноклональными антителами против антигена ПК М $\zeta$  (Abcam, Великобритания), ПК С $i$  человека (Abcam, Великобритания) и конъюгировали с антикроличьими мышинными IgG антителом против пероксидазы хрена (Cell Marque, «Sigma-Aldrich», США). Визуализацию сайтов связывания антител проводили с помощью тетрагидрохлорида 3,3'-диаминобензидина («Ventana Medical Systems», США), ядра клеток окрашивали гематоксилином.

#### *Проведение анализа*

Все полученные препараты были проанализированы на предмет того, насколько высока в них активность экспрессии ПК М $\zeta$  (АЭ ПК М $\zeta$ ) и ПК С $i$  (АЭ ПК С $i$ ). Для данной цели применялся полуколичественный метод подсчета параметра, учитывавший количество позитивных клеток и интенсивность экспрессии маркеров в каждой клетке. Для этого препараты оцифровывались с помощью сканера Aperio 3T (Leica Biosystems, GmbH). Далее полуавтоматическим методом под контролем оператора проводилось определение процента клеток, в которых экспрессируется данный маркер, а также средней цветности всех позитивных меток в процентах. После чего полученные показатели складывались и усреднялись.

#### *Статистический анализ*

Для проведения статистического процессинга и анализа использовалось программное обеспечение SPSS Statistics 22 (IBM, США). Сравнение средних двух выборок производилось с использованием U-теста Манна – Уитни. Значения  $p < 0,05$  считались статистически значимыми.

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

##### *Результаты сравнительного анализа ПК М $\zeta$ и ПК С $i$ в ДА и АА*

При проведении сравнительного анализа активности экспрессии ПК М $\zeta$  и ПК С $i$  в ДА и АА с наличием и отсутствием метилирования промотера гена *MGMT* был выявлен ряд закономерностей. В частности, нам удалось показать, что АЭ ПК М $\zeta$  в среднем в ДА и АА *MGMT-meth* составляет

64,26 ± 2,42 %, при этом в ДА и АА *MGMT-unmeth* данный параметр больше и составляет 68,52 ± 2,86 %. При этом различия между группами носили статистически значимый характер ( $p = 0,004268$ ). В то же время АЭ ПК С $i$  в среднем в ДА и АА *MGMT-meth* составила 62,76 ± 4,24 %, в ДА и АА *MGMT-unmeth* данный показатель равнялся 64,68 ± 4,32 %. При том различия не были значимыми ( $p = 0,064244$ ) (рис. 1).

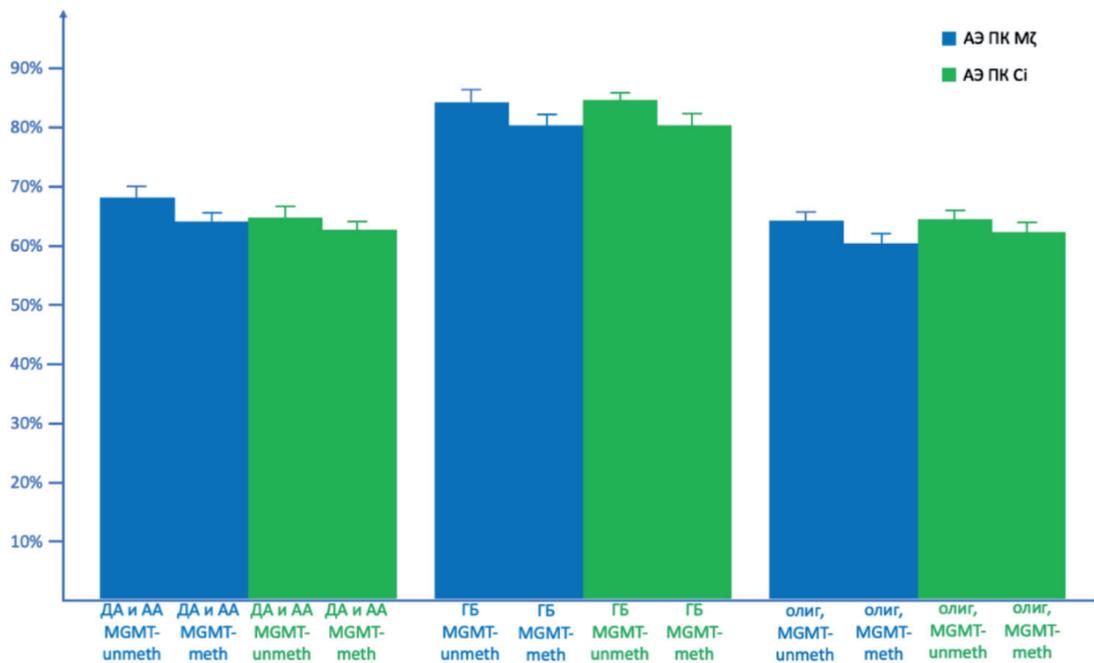
##### *Сравнительный анализ ПК М $\zeta$ и ПК С $i$ в ГБ*

В рамках проведенного сравнительного анализа в образцах ГБ было выявлено, что АЭ ПК М $\zeta$  в среднем в ГБ *MGMT-meth* составляет 80,22 ± 2,28 %, в то время как в ГБ *MGMT-unmeth* данный параметр был выше и равнялся 84,46 ± 4,42 %. При этом различия между группами были статистически значимыми ( $p = 0,002648$ ). Также было показано, что АЭ ПК С $i$  была ниже в ГБ *MGMT-meth* и составила 80,34 ± 4,72, в ГБ *MGMT-unmeth* данный параметр составил 84,62 ± 2,28 %, различия были статистически значимыми ( $p = 0,004284$ ).

##### *Результаты сравнительного анализа ПК М $\zeta$ и ПК С $i$ в олигодендроглиомах*

При сравнении показателей средних значений АЭ ПК М $\zeta$  и АЭ ПК С $i$  в олигодендроглиомах было выявлено, что АЭ ПК М $\zeta$  в среднем в олигодендроглиомах, *MGMT-meth* составила 60,42 ± 2,76 %, в то время как данный параметр в олигодендроглиомах, *MGMT-unmeth* равнялся 64,22 ± 4,72 %. При этом различия между группами носили статистически значимый характер ( $p = 0,004228$ ). В то же время АЭ ПК С $i$  в олигодендроглиомах, *MGMT-meth* составила 62,38 ± 6,18 %, в олигодендроглиомах, *MGMT-unmeth* данный параметр составил 64,48 ± 2,36 %, различия не были статистически достоверными ( $p = 0,246488$ ) (рисунки).

Данный параметр изучался в диффузных астроцитомах и анапластических астроцитомах с отсутствием метилирования промотера гена *MGMT* (ДА и АА *MGMT-unmeth*) и наличием метилирования промотера гена *MGMT* (ДА и АА *MGMT-meth*), глиобластомах с отсутствием метилирования промотера гена *MGMT* (ГБ *MGMT-unmeth*) и наличием метилирования промотера гена *MGMT* (ГБ *MGMT-meth*), олигодендроглиомах и анапластических олигодендроглиомах с отсутствием метилирования промотера гена *MGMT* (олиг, *MGMT-unmeth*) и наличием метилирования промотера гена *MGMT* (олиг, *MGMT-meth*).



Взаимосвязь молекулярных модификаций с активностью экспрессии ПК Мз (АЭ ПК Мз) и ПК Сi (АЭ ПК Сi)

*Сравнительный анализ протеинкиназ при модификации 1p/19q*

При рассмотрении вопроса взаимосвязи количественных изменений фрагментов хромосом 1p/19q с АЭ ПК Мз было выявлено, что данный параметр в олигодендроглиомах с наличием сочетанной делеции 1p/19q составил  $62,43 \pm 4,64\%$ , в то время как в олигодендроглиомах без делеции данный параметр составил  $64,35 \pm 2,68\%$ . Различия между группами не были статистически значимыми ( $p = 0,260846$ ). В то же время АЭ ПК Сi в аналогичных группах составила в среднем  $60,37 \pm 4,27\%$  и  $62,59 \pm 4,38\%$  соответственно. При этом различия между данными группами не носили статистически значимого характера ( $p = 0,068244$ ).

Результаты в рамках данного сравнительного анализа дают основания для крайне любопытных выводов. Необходимо заметить, что ПК Мз достоверно активнее в диффузных глиомах без наличия метилирования промотора гена *MGMT*, то есть во всех гистологических видах глиом метилирование промотора гена *MGMT* взаимосвязано со снижением продукции ПК Мз. Данная закономерность хорошо согласуется с ранее установленными особенностями участия ПК Мз в патогенезе диффузных глиом. В частности, нами было показано, что рассматриваемая протеинкиназа становится

значимо активнее при повышении степени злокачественности опухоли. То есть рост агрессивности онкологического процесса сопровождается повышением продукции ПК Мз, что находит свое отражение и в клинической плоскости: активность экспрессии ПК Мз влияет на выживаемость пациентов с диффузными глиомами.

В данном исследовании указанная закономерность находит свое дополнительное подтверждение. Хорошо известно, что, как уже указывалось выше, метилирование промотора гена *MGMT* сопровождается лучшим прогнозом для пациентов и лучшим ответом на лечение. Более того, метилирование промотора данного гена ведет к снижению злокачественных потенциалов диффузной глиомы [7]. Таким образом, активность ПК Мз варьирует во взаимосвязи не только со злокачественным потенциалом опухоли в целом, но и с важными отдельными его маркерами и компонентами, в частности с метилированием промотора гена *MGMT*.

В то же время ПК Сi не демонстрирует такой же однозначной корреляции с типичными метилиационными чертами диффузных глиом. Данная протеинкиназа не изменяет свою активность в зависимости от наличия или отсутствия метилирования промотора гена *MGMT* в ДА и АА, а также в олигодендроглиомах, но активность ПК Сi повышается при метилировании про-

мотера данного гена в ГБ. Представленные результаты также хорошо согласуются с нашими предыдущими исследованиями, которые демонстрируют значимую роль ПК Сi именно в патогенезе ГБ, причем в клинической плоскости прогноз пациентов с ГБ также взаимосвязан с продукцией данной протеинкиназы.

В вопросе взаимосвязи ко-делеции 1p/19q с активностью ПК Мζ и ПК Сi ситуация обстоит иначе, значимых различий данное генетическое событие не вызывает. В целом подобная картина может объясняться особенностями происхождения и развития глиом, возникающих из клеток со стволовыми свойствами. В ходе этого процесса ПК Мζ, по-видимому, выступает в качестве ключевого эффектора, через который реализуются злокачественные потенции опухоли и поддерживаются в гиперактивном состоянии многие ключевые функции клеток. В то же время ко-делеция 1p/19q, по-видимому, в большей степени ассоциирована не столько с функциональными особенностями клеток, сколько с гистогенетическими характеристиками, в результате чего данный параметр не взаимосвязан с активностью ПК Мζ [8]. Возможно также, что существуют и другие факторы, не связанные с ПК Мζ, которые включатся в процесс обеспечения злокачественного потенцирования опухоли в олигодендроглиомах. Тем не менее ряд вопросов взаимосвязи рассматриваемого генетического параметра с активностью ПК Мζ требует дополнительного анализа в разных моделях.

### Заключение

В рамках данного исследования мы подтвердили наши предшествующие выводы о роли ПК Мζ и ПК Сi в прогрессировании и реализации злокачественного потенциала диффузных глиом. Более того, нам удалось расширить понимание механизмов взаимодействия данных протеинкиназ с важнейшими молекулярными факторами в патогенезе глиом, в частности метилированием промотера гена *MGMT* и модификацией фрагментов хромосом 1p/19q в различных

гистологических видах глиом. Данные результаты позволяют сформировать более комплексное понимание роли рассматриваемых протеинкиназ в прогрессировании и развитии диффузных глиом. Кроме того, полученные данные усиливают имеющуюся научную базу для создания принципиально новых персонализированных подходов к диагностике и лечению глиальных новообразований.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-01034 мк.*

### Список литературы

1. Louis D.N., Perry A., Reifenberger G., von Deimling A., Figarella-Branger D., Cavenee W.K., Ohgaki H., Wiestler O.D., Kleihues P., Ellison D.W. The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Acta Neuropathol.* 2016. Vol. 131. No. 6. P. 803–20. DOI: 10.1007/s00401-016-1545-1.
2. Ostrom Q.T., Gittleman H., Liao P., Vecchione-Koval T., Wolinsky Y., Kruchko C., Barnholtz-Sloan J.S. CBTRUS Statistical Report: Primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2010-2014. *Neuro Oncol.* 2017. Vol. 19. No. 5. P. v1–v88. DOI: 10.1093/neuonc/nox158.
3. Никитин П.В., Рыжова М.В., Галстян С.А., Зубова И.В., Хохлова Е.А. Протеинкиназа М ζ и протеинкиназа С iota в диффузных астроцитомах, анапластических астроцитомах и глиобластомах // *Современные проблемы науки и образования.* 2020. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=29819> (дата обращения: 13.07.2020). DOI: 10.17513/spno.29819.
4. Hirai T., Chida K. Protein kinase Czeta (PKCzeta): activation mechanisms and cellular functions. *J Biochem.* 2003. Vol. 133. No. 1. P. 1–7.
5. Zhang Y., Zong W., Zhang L., Ma Y., Wang J. Protein kinase M ζ and the maintenance of long-term memory. *Neurochem Int.* 2016. Vol. 99. P. 215–220.
6. Chen R., Smith-Cohn M., Cohen A.L., Colman H. Glioma Subclassifications and Their Clinical Significance. *Neurotherapeutics.* 2017. Vol. 14. No. 2. P. 284–297. DOI: 10.1007/s13311-017-0519-x.
7. Kessler T., Sahn F., Sadik A., Stichel D., Hertenstein A., Reifenberger G., Zacher A., Sabel M., Tabatabai G., Steinbach J., Sure U., Krex D., Grosu A.L., Bewerunge-Hudler M., Jones D., Pfister S.M., Weller M., Opitz C., Bendszus M., von Deimling A., Platten M., Wick W. Molecular differences in IDH wildtype glioblastoma according to MGMT promoter methylation. *Neuro Oncol.* 2018. Vol. 20. No. 3. P. 367–379. DOI: 10.1093/neuonc/nox160.
8. Cahill D.P., Louis D.N., Cairncross J.G. Molecular background of oligodendroglioma: 1p/19q, IDH, TERT, CIC and FUBP1. *CNS Oncol.* 2015. Vol. 4. No. 5. P. 287–294. DOI: 10.2217/cns.15.32.

УДК 616.94-022.7

## ОСНОВНОЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ ОСТЕОМИЕЛИТА – ЗОЛОТИСТЫЙ СТАФИЛОКОКК И ЕГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Плиска Н.Н.

*Научно-исследовательский института травматологии и ортопедии Министерства здравоохранения Республики Казахстан, Нур-Султан, e-mail: Pliska6363@mail.ru*

В связи с применением новых технологий в травматологии и ортопедии во всех странах мира увеличивается количество проведенных операций по их сложности и количеству с применением металлических конструкций, поэтому не уменьшается количество осложнений, таких как остеомиелит и перипротезные инфекции. Этиология остеомиелита Республики Казахстан приведена за два года наблюдения, золотого стафилококка в 2017–2018 гг. в среднем было выделено 47%. Изучив чувствительность золотистого стафилококка, сделали вывод о том, что она сохранена у цефалоспоринов III-IV поколения, фторхинолонов, аминогликозидов, карбапенемов. При выявлении метициллин-резистентного *Staphylococcus aureus* (MRSA) для лечения используются резервные антибиотики, чаще других группа гликопептидов, которые представлены в наших исследованиях ванкомицином. Все вышеупомянутые препараты могут использоваться в качестве эмпирической терапии. Успех лечения этой патологии напрямую зависит от своевременного микробиологического исследования. Сходством с международными литературными данными и проведенными нами исследованиями в Республике Казахстан явилось выделение золотистого стафилококка в 50% случаев, как наиболее частого этиологического фактора. Различие наших исследований выявлено в обнаружении метициллин-резистентных штаммов золотистого стафилококка в 15% случаев, что в 3 раза меньше международных данных и более чем в 2 раза российских.

**Ключевые слова:** этиология остеомиелита, золотистый стафилококк, антибиотикочувствительность золотистого стафилококка

## THE MAIN CAUSATIVE AGENT OF OSTEOMYELITIS IS STAPHYLOCOCCUS AUREUS AND ITS SENSITIVITY

Pliaka N.N.

*Research Institute of Traumatology and Orthopedics of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, e-mail: Pliska6363@mail.ru*

In connection with the use of new technologies in traumatology and orthopedics in all countries of the world, the number of operations performed in terms of their complexity and number with the use of metal structures is increasing, therefore the number of complications such as osteomyelitis and periprosthetic infections does not decrease. The etiology of osteomyelitis of the Republic of Kazakhstan is given for two years of observation, *Staphylococcus aureus* in 2017–2018, on average, 47% were isolated. Having studied the sensitivity of *Staphylococcus aureus*, it was concluded that it is preserved in cephalosporins of the III-IV generation, fluoroquinolones, aminoglycosides, carbapenems. When methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) is detected, reserve antibiotics are used for treatment more often than other glycopeptides, which are represented in our studies by vancomycin. All of the above drugs can be used as empirical therapy. The success of the treatment of this pathology directly depends on the timely microbiological examination. The similarity with international literature data and our studies in the Republic of Kazakhstan was the isolation of *Staphylococcus aureus* in 50% of cases, as the most frequent etiological factor. The difference between our studies was revealed in the detection of methicillin-resistant strains of *Staphylococcus aureus* in 15% of cases, which is 3 times less than international data and more than 2 times less Russian.

**Keywords:** etiology of osteomyelitis, *Staphylococcus aureus*, antibiotic sensitivity of *Staphylococcus aureus*

Инновационные технологии, применяемые в медицинской практике при лечении травм опорно-двигательного аппарата, в частности при переломах длинных костей, привели к появлению новых различных методов оперативного лечения. С каждым годом повышается количество хирургической помощи при получении пациентами различных переломов. Надежная стабилизация, ранняя активация и укорочение сроков нетрудоспособности сегодня возможны только с использованием металлоконструкций, которые повышают риск инфекционных осложнений. Частота последних достигла 5,9–13,6%, что является основной и наиболее затрат-

ной медицинской проблемой с социально значимыми потерями и возникновением инвалидизации. Генерализация остеомиелитной инфекции может привести к сепсису и летальному исходу [1–3]. Стоимость лечения пациента с остеомиелитом в Великобритании составляет 30 до 50 тысяч долларов [4]. На лечение больных с осложнениями в травматологии и ортопедии, в том числе больных с остеомиелитом, в США в текущем 2020 г. планируется потратить 1,620 млрд долларов [5].

Среди возбудителей остеомиелитов по частоте на первом месте стоят *Staphylococcus aureus* и коагулазонегативные стафилококки (КНС), главным обра-

зом это *Staphylococcus epidermidis* [6; 7]. В случаях выделения из очага остеомиелита метициллинорезистентных штаммов стафилококков, частота которых в отделениях ОРИТ может достигать 88,9%, возникает проблема подбора антибиотиков [8]. Резистентность к антибактериальным препаратам возникает по разным причинам, в том числе из-за нерационального назначения препаратов, снижения иммунного ответа макроорганизма [9; 10]. Чаще всего наблюдается нарушение сроков применения, число которых доходит до 35% [11; 12].

Целью данного исследования явилось изучение основного возбудителя остеомиелита и его чувствительности к некоторым группам антимикробных препаратов в Республике Казахстан.

#### Материалы и методы исследования

Исследование проведено с соблюдением этических принципов медицинских исследований согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Объектом исследования послужили мазки из раневого отделяемого, свищевого канала, а также отобранный биоматериал после оперативного вмешательства в случае повторной ревизии сустава или его замены. Исследовались все пациенты, поступившие с хроническим остеомиелитом в РГП «Научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» г. Нур-Султан за период 2017–2018 гг., которые обращались из всех регионов Казахстана.

Биоматериал исследовался общепринятыми методами, обязательно его подвергали количественному бактериологическому исследованию. Бактериологическое исследование проводили согласно протоколу исследования (окраска мазков по Граму, посев на твердые пластинчатые среды с дальнейшей идентификацией выделенных микроорганизмов проводили классическим бактериологическим методом по изучению морфологических, культуральных и биохимических свойств. Антибиотико-чувствительность выделенных штаммов определяли методом стандартных дисков в соответствии с клиническими рекомендациями [13]. Полученные данные обработаны методом вариационной статистики.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Проведенное нами в течение данного времени исследование этиологии инфекций остеомиелитов после оказания травматологической и ортопедической помощи пациентам показало следующее. В 2017 г. проведено 966 исследований биоматериала

с данной нозологической формой, из них отрицательных результатов получено 13, что составляет 1,3%. В 2018 г. проведено 967 исследований, выявлено 310 (32%) отрицательных результатов. В 2017 г. стафилококков выделено – 722 (75,7%), в 2018 г. – 464 (70,6%) от общего количества всей идентифицированной микрофлоры. За два исследуемых года в раневом отделяемом был выделен 21 вид микроорганизмов, однако ведущую роль в послеоперационных осложнениях играли 4 основных вида: *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli*, что представлено в табл. 1.

За два исследуемых года из раневого отделяемого пациентов, страдающих остеомиелитом, наиболее часто высевался стафилококк (в 77,88% посевов), из которых лидирующее место занимает *Staphylococcus aureus* (табл. 1). Выделение этого возбудителя из раневого отделяемого пациентов в 2017 г. составило 44,7%, в 2018 г. – 50,5%. Наши исследования подтвердили ведущее значение золотистого стафилококка в этиологии возникновения хронических остеомиелитов у взрослых.

Анализ чувствительности основных антибиотиков, которые были использованы в работе лаборатории, показал высокий уровень чувствительности *Staphylococcus aureus* к большинству антимикробных препаратов. Самая низкая чувствительность установлена к группе пенициллинов, так, чувствительность к амоксиклаву выявлена у только 31,9% штаммов в 2017 г. и у 28% в 2018 г. К оксациллину наблюдали значительно большую чувствительность: 81% – в 2017 г. и 79% – в 2018 г. Вместе с тем чувствительность к амоксиклаву и оксациллину за исследуемый период незначительно снизилась (на 3,9% и 2% соответственно) (табл. 2).

К группе цефалоспоринов в наших исследованиях проявилась более высокая чувствительность, чем к первой группе антибиотиков (пенициллины). Так, к цефазолину (I поколение) в 2017 г. были чувствительны 85,3% штаммов и в 2018 г. – 83,4%. К цефтриаксону (III поколение) чувствительность в 2017 г. проявили 92,3% штаммов и 91,1% соответственно в 2018 г. В этой группе антибиотиков самая высокая чувствительность проявилась к цефепиму (IV поколение цефалоспоринов): 98% – в 2017 г. и 97,5% – в 2018 г. В данной группе антибиотиков также прослеживается незначительное динамичное снижение чувствительности (цефазолин на 1,9%, цефтриаксон на 1,2% и цефепим на 0,5%) в среднем на 1,2% в год.

Таблица 1

Основные возбудители остеомиелита за 2017–2018 гг.

Наименование микроорганизмов	2017 г.		2018 г.		Всего	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
<i>Staphylococcus aureus</i>	426	44,7	332	50,5	758	47,08
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	286	30,01	129	19,6	415	27,8
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	90	9,4	82	12,5	172	10,7
<i>Escherichia coli</i>	42	4,4	37	5,6	79	4,9
Др. микроорганизмы	109	11,49	77	11,8	186	9,52
Итого	953		657		1610	

Таблица 2

Антибиотикочувствительность *Staphylococcus aureus* за 2017–2018 гг.

Микроорганизмы	Годы				ИТОГО	
	2017		2018			
	абс.	%M ± m	абс.	%M ± m	абс.	%M ± m
Оксациллин	200	81 ± 2,2	200	79 ± 2,2	400	80 ± 1,6
Амоксиклав	47	31,9 ± 2,7	100	28 ± 2,5	147	29,9 ± 1,8
Ванкомицин	100	100 ± 0	300	100 ± 0	400	100 ± 0
Цефазолин	292	85,3 ± 1,3	325	83,4 ± 2,06	617	84,4 ± 1,46
Цефтриаксон	292	92,3 ± 1,5	325	91,1 ± 1,5	617	91,7 ± 1,1
Цефепим	100	98 ± 0,8	200	97,5 ± 0,8	300	97,75 ± 0,59
Ципрофлоксацин	200	86 ± 2,03	300	83 ± 2,08	500	84,5 ± 0,8
Левифлоксацин	200	96 ± 1,1	300	95 ± 1,2	500	95,5 ± 0,8
Гентамицин	200	90 ± 1,7	325	89,5 ± 1,7	525	89,75 ± 1,2
Амикацин	200	96 ± 1,1	200	95,5 ± 1,1	400	95,5 ± 0,8
Имипенем	100	100 ± 0	200	99 ± 0,55	300	99,5 ± 0,28
Всего	292		325		617	

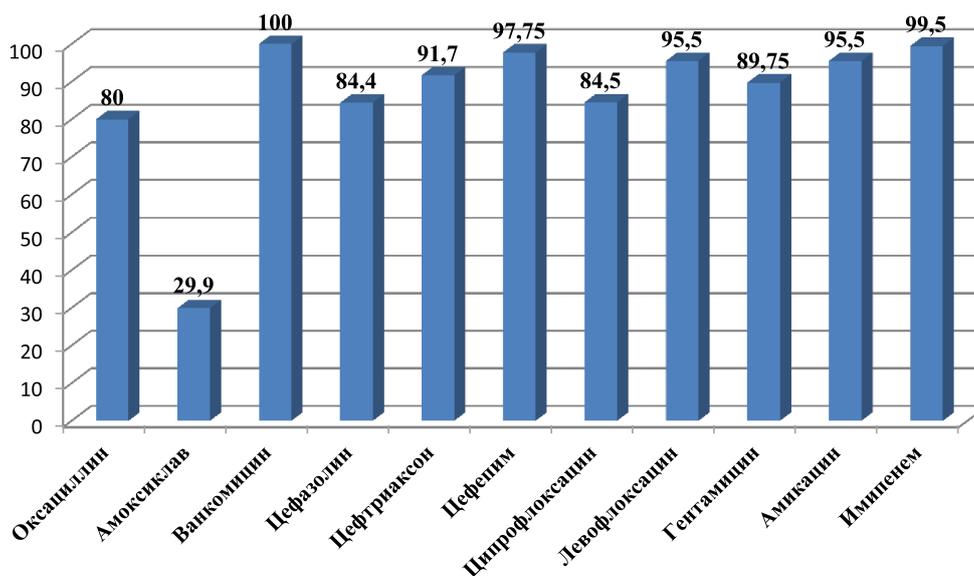
В группе фторхинолонов чувствительность была изучена к двум препаратам: ципрофлоксацин и левофлоксацин. В 2017 г. чувствительность к ципрофлоксацину была у 86% штаммов, и в 2018 г. она снизилась до 83%. Значительно лучшая чувствительность проявилась к левофлоксацину: 96% – 2017 г., 95% – 2018 г. Прослеживается снижение чувствительности и к данной группе антибактериальных препаратов (к ципрофлоксацину на 3% и к левофлоксацину на 1%) в среднем на 2%.

Следующая группа антибиотиков, к которым была изучена чувствительность золотистого стафилококка – это аминогликозиды. Она изучалась на двух его представителях: гентамицин и амикацин. К гентамицину проявилась чувствительность в 90% случаев в 2017 г. и 89,5% – в 2018 г. К амикацину в 2017 г. имели чувствительность 96% штаммов, а в 2018 г. *Staphylococcus aureus* был чувствителен в 95,5%. В данной группе препаратов имеет место одинаковое снижение чувствительности за 2 исследуемых года на 0,5%.

Карбапенемы представлены одним видом антибиотика – имипенемом, к которому в 2017 г. была 100% чувствительность золотистого стафилококка, и она снизилась в 2018 г. на 1% и достигла 99%.

Стабильно высокой и неизменной 100% чувствительность *Staphylococcus aureus* была в течение двух лет в группе трициклических гликопептидов, которая представлена одним представителем – ванкомицином, что доказывает его редкое, т.е. резервное применение в случаях выявления MRSA (methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* – метициллин-устойчивый золотистый стафилококк).

Таким образом, прослеживая динамику чувствительности золотистого стафилококка, выделенного у больных с хроническим остеомиелитом, за 2017–2018 гг., можно предположить, что эмпирическое лечение цефалоспоридами возможно, за исключением препаратов I поколения, предпочтительны цефалоспорины III и IV поколений, к которым стабильно сохраняется высокая чувствительность.



Средние значения антибиотикограммы к *Staphylococcus aureus* за 2017–2018 гг.

К группе фторхинолонов имеется переменная чувствительность, что касается ципрофлоксацина (чувствительны 84,5% штаммов), то его можно использовать только после получения результата бактериологического исследования при его чувствительности к данному препарату, в качестве эмпирической терапии может быть использован левофлоксацин, к которому сохраняется стабильно высокая чувствительность – 95,5%.

К аминогликозидам (гентамицин и амикацин) сохранилась стабильно высокая чувствительность в течение двух исследуемых лет, что доказывает их возможность применения в эмпирической терапии.

### Выводы

Штаммы были восприимчивы ко всем антибиотикам в соответствии с руководящими принципами тестирования чувствительности (EUCAST 2014), кроме пенициллинов.

Выделенные микроорганизмы, генетически относящиеся к виду *Staphylococcus aureus*, в наших исследованиях проявили высокую чувствительность к имипенему (95–100%), аминогликозидам (гентамицин и амикацин 89,75–95,5%), фторхинолонам (ципрофлоксацину и левофлоксацину (86–95,5%).

Группа трициклических гликопептидов, которая представлена ванкомицином, может использоваться в качестве резервного применения в случаях выявления MRSA (methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* – метициллин-устойчивый золотистый стафилококк).

Цефалоспорины III–IV поколения используем для лечения, их показатели 91,7–97,75%, чего нельзя сказать про цефалоспорины I поколения, их использование целесообразно после бактериологического исследования.

Из всех исследуемых антибактериальных препаратов самой низкой эффективностью в отношении *Staphylococcus aureus* обладали пенициллины: амоксицилин (чувствительны 29,9% штаммов) и оксациллин (чувствительны 80% штаммов).

Сходством с международными литературными данными и проведенными нами исследованиями в Республике Казахстан явилось выделение золотистого стафилококка в 50% случаев, как наиболее частого этиологического фактора. Различие наших исследований выявлено в обнаружении метициллин-резистентных штаммов золотистого стафилококка в 15% случаев, что в 3 раза меньше международных данных и более чем в 2 раза – российских.

### Список литературы

1. Винклер Т., Трампуш А., Ренц Н., Перка К., Божкова С.А. Классификация и алгоритм диагностики и лечения перипротезной инфекции тазобедренного сустава // Травматология и ортопедия России. 2016. № 1. С. 33–45.

2. Божкова С.А., Тихилов Р.М., Краснова М.В., Рукина А.Н. Ортопедическая имплант-ассоциированная инфекция: ведущие возбудители, локальная резистентность и рекомендации по антибактериальной терапии // Травматология и ортопедия России. 2013. № 4. С. 5–15.

3. Corvec S., Portillo M.E., Pasticci B.M., Borens O., Trampuz A. Epidemiology and new developments in the diagnosis of prosthetic joint infection. Int. J. Artif Organs. 2012. Vol. 35. № 10. P. 923–934.

4. Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Коваленко А.Н., Тотьев З.А., Лю Б., Билык С.С. Структура ранних ревизий эндопротезирования тазобедренного сустава // Травматология и ортопедия России. 2014. № 2. С. 5–13.
5. Alsaba F. Raja, Furqan Ali, Inshad Ali Khan, Abdul Sami Shawl, Daljit Singh Arora, Bhahwal Ali Shah, Subhash Chandra Taneja. Antistaphylococcal and biofilm inhibitory activities of acetyl-11-keto- $\beta$ -boswellic acid from *Boswellia serrata*. *BMC Microbiology*. 2011. Vol. 11. P. 1–9. DOI: 10.1186/1471-2180-11-54.
6. Thomas Fintan Moriarty, Sebastian A. J. Zaaf, Henk J. Busscher. Biomaterials-associated infection: a perspective from the clinic In: *Biomaterials Associated Infection: Immunological Aspects and Antimicrobial Strategies*; Moriarty. Springer. London, 2013. P. 3–24.
7. Приказ МЗ СССР 535 от 22.04.1985 г. Об унификации микробиологических методов исследования, применяемых в клинико-диагностических лабораториях лечебно-профилактических учреждений.
8. Полякова Е.М., Божкова С.А. Сравнительная характеристика фенотипической и генотипической устойчивости к аминогликозидам штаммов *Staphylococcus aureus*, выделенных в травматолого-ортопедическом стационаре // Клиническая лабораторная диагностика. 2015. Т. 60. № 11. С. 50–53.
9. Привольнев В.В., Родин А.В., Каракулина Е.В. Местное применение антибиотиков в лечении инфекций костной ткани // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2012. Т.14. № 2. С. 118–131.
10. Розова Л.В., Годовых Н.В. Сравнительная характеристика видового состава микроорганизмов при хроническом посттравматическом и гематогенном остеомиелите // Гений Ортопедии. 2014. Т. 2. С. 56–59.
11. Божкова С.А. Профиль резистентности возбудителей как основа выбора эффективного антибиотика при стафилококковых инфекциях протезированных суставов // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2013. Т. 15. № 2. С. 115–123.
12. Божкова С.А., Разоренов В.Л., Петрова Т.М. Микробиологический мониторинг – основа рациональной стратегии и тактики антибактериальной терапии инфекции костей и протезированных суставов // Тольяттинский медицинский консилиум. 2011. Т. 3–4. С. 33–42.
13. Hauschild T. Aminoglycosides resistance in clinical isolates of *Staphylococcus aureus* from a University Hospital in Bialystok. *Folia Histochem Cytobiol*. 2008. Vol. 46. № 2. P. 225–228. DOI: 10.2478/v10042-008-0034-3.
14. Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам. Клинические рекомендации Министерства здравоохранения РФ. М., 2014. 154 с.

УДК 611.08:57.08:612.216.2:612.13

## РОЛЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БОЛЕЗНЕЙ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ В УСЛОВИЯХ COVID-19: ГИСТОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТИНА ЗДОРОВЫХ И СТРЕСС-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЛЕГКИХ

Хамчиев К.М., Исаева З.К., Сулейменова Ф.М., Сагимова Г.К., Адайбаев К.Т.

*Медицинский университет Астана, Нур-Султан, e-mail: kureysh2562@gmail.com*

Тяжелый острый респираторный синдром коронавируса 2 (SARS-CoV-2), вызывающий коронавирусную болезнь 2019 г. (COVID-19), достиг пандемического уровня. В настоящее время имеются многочисленные свидетельства того, что коронавирус COVID-19 может серьезно поражать сердце, кровеносные сосуды, нервы, мозг, почки и кожу. Конечно, легкие и дыхательные пути находятся в центре внимания при респираторном заболевании COVID-19. В данной статье с использованием реографической методики изучены характерные показатели кровообращения в малом круге и морфологическая картина легочной ткани при спонтанном дыхании у интактных животных, а также описана гистологическая картина легочной ткани интактных крыс. Легочное кровообращение и паттерны дыхания изучались с использованием метода регистрации репульмографии у крыс. С учетом того, что стрессорные факторы, как правило, действуют на организм не изолированно, а в совокупности, в работе было исследовано комбинированное влияние двух стресс-факторов: гипокинезии и пониженной температуры на перечисленные выше показатели. Вскрытие крыс после стресс-индуцированной альтерации легких позволило выявить серьезные морфологические и гемодинамические изменения в данном органе. Основные нарушения при этом были связаны с нарушением легочной гемодинамики на уровне пре- и посткапиллярного русла и определялись степенью выраженности признаков кровенаполнения сосудов, повышения давления в них, уровня застойных явлений и проницаемости сосудистых стенок, в особенности на венозном участке.

**Ключевые слова:** COVID-19, дыхание, морфология легких, отек легких, легкие, стресс-факторы, иммобилизация, гипотермия, легочное кровообращение, кардиореспираторная система, реограмма

## ROLE OF BIOLOGICAL MODELING OF RESPIRATORY DISEASES IN COVID-19 CONDITIONS: HISTOLOGICAL PICTURE OF HEALTHY AND STRESS-INDUCED LUNGS

Khamchiev K.M., Isaeva Z.K., Suleymenova F.M., Sagimova G.K., Adaybaev K.T.

*Astana Medical University, Nur-Sultan, e-mail: kureysh2562@gmail.com*

Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2), which causes the 2019 coronavirus disease (COVID-19), has reached a pandemic level. Currently, there is abundant evidence that COVID-19 coronavirus can seriously affect the heart, blood vessels, nerves, brain, kidneys, and skin. Of course, the lungs and respiratory tract are the focus of attention for COVID-19 respiratory disease. This article assesses the parameters of pulmonary circulation in the dynamics of the respiratory cycle phases during spontaneous respiration in intact animals, and describes the histological picture of the lung tissue of intact rats. Pulmonary circulation and respiratory patterns were studied using the method of recording reopulmonography in rats. Taking into account the fact that stress factors usually act on the body in combination, in experiments on rats with hematoxylin and eosin staining of lung tissue, functional changes in pulmonary circulation and the histological picture of the lungs under the combined effects of immobilization and hypothermia were studied. It was found that disorders occurring at the level of microcirculatory vessels of the lung tissue are accompanied by a decrease in blood filling, the development of signs of arteriolar spasm, an increase in blood filling of capillaries and postcapillary venules with a steady increase in the permeability of the vascular wall.

**Keywords:** COVID-19, respiration, lung morphology, pulmonary edema, lungs, stress factors, immobilization, hypothermia, pulmonary circulation, cardiorespiratory system, rheogram

В настоящее время в связи с пандемией COVID-19 внимание многих исследователей направлено на изучение динамики дыхательных и кровеносных изменений в органах и тканях, а также на изучение путей профилактики этого заболевания [1–3]. Осложнения COVID-19 могут включать дыхательную недостаточность и внезапный респираторный дистресс-синдром, сердечную недостаточность и нарушения сердечного ритма, почечную недостаточность, полиорганную недостаточность и смерть. COVID-19 в первую очередь известен как респираторное заболевание [2, 3].

Конечно, легкие и дыхательные пути находятся в центре внимания при респираторных заболеваниях COVID-19. Поскольку новый патоген SARS-CoV-2 в основном поражает нижние дыхательные пути, инфицированные люди, которые испытывают умеренное или тяжелое заболевание, имеют сухой кашель, одышку и / или пневмонию [3, 4].

Сегодня на фоне серьезной пандемии COVID-19 особенно остро встает вопрос необходимости биологического моделирования болезней на мелких лабораторных животных. Важным фактором является соз-

дание таких экспериментальных моделей, которые бы наиболее адекватно отражали и помогали объяснить механизмы возникновения заболеваний дыхательной системы и пути их профилактики и лечения. Проведение таких экспериментов невозможно без детального изучения морфологических и физиологических характеристик легочной ткани, включающих ее гистологическое строение и кровоснабжение. Однако до настоящего времени структурно-функциональные особенности легких лабораторных животных изучены недостаточно. Анализ доступных литературных источников демонстрирует фрагментарность подобных исследований [5].

В литературе имеются данные о нормальных значениях основных показателей динамики крови в большом и малом кругах кровообращения, таких как тонус сосудов, кровенаполнение, степень оводнения легочной ткани, в зависимости от степени выраженности венозного застоя крови [6, 7]. Однако нам не удалось найти работ, которые позволили бы оценить эти показатели у здоровых животных в разные фазы дыхания: во время спонтанного вдоха и выдоха.

Поэтому на первом этапе исследования перед нами стояла задача изучить анатомо-физиологические и гистологические особенности легких здоровых животных на фоне спонтанного дыхания.

Как показывает опыт многолетнего изучения стресса, он представляет собой стандартную адаптационную реакцию в ответ на действие большого числа различных по природе факторов (интоксикация, кровопотеря, травма, инфекционный процесс, длительная физическая или психическая нагрузка и т.д.), потенциально угрожающих существованию организма. Вне зависимости от причины, ее вызвавшей, в основе стресс-реакции лежит повышенная выработка адренортикогормона (АКТГ) и индуцированная ею гиперпродукция надпочечниками стероидных гормонов. Картина стресса была впервые описана Г. Селье в 1936 г. как «синдром, вызываемый различными вредными агентами», впоследствии получивший известность как общий адаптационный синдром, или синдром биологического стресса [8, 9].

В литературе также имеется большое число работ, посвященных изучению системной и легочной гемодинамики при сосудистых заболеваниях респираторной системы методом реопульмографии.

Однако клиническое значение реографических данных у больных с нарушениями кровообращения в малом круге, а также функциональных и морфологических осо-

бенностей ткани легких остаются недостаточно изученными, а трактовка полученных результатов в практической работе представляет значительные трудности.

Сведения о реографических показателях в норме и при нарушении легочного кровотока весьма скудны и противоречивы. Так, разнонаправленные изменения системной и регионарной гемодинамики на один и тот же стресс у различных видов животных отмечались рядом исследователей [2, 3, 10].

Вышеизложенное свидетельствует о необходимости более детального изучения и уточнения, а именно, динамики реографических показателей в норме и при нарушении легочного кровотока [10–12].

В доступной литературе мы не обнаружили данных о комплексном влиянии иммобилизации и гипотермии на морфофункциональные изменения легких.

Цель исследования: изучение морфофункциональных особенностей легочной ткани у здоровых животных при спонтанном дыхании, а также их изменений на фоне моделирования стресс-индуцированной альтерации под влиянием комплексного воздействия гипотермии и иммобилизации.

#### Материалы и методы исследования

Эксперименты выполнены на 30 белых беспородных крысах обоего пола массой от 170 до 250 г. Животные содержались на стандартном рационе вивария и брались в эксперимент натошак.

Экспериментальные животные распределялись по следующим группам:

1 группа – интактные животные (8 крыс). Кроме легкого наркоза и записи реограммы, эти животные не подвергались экспериментальным воздействиям.

2 группа – 8 крыс, здоровые животные, у которых после вскрытия грудной клетки изучались гистологические характеристики легочной ткани.

3 группа – экспериментальная (14 белых крыс), у которых изучали реопульмографические показатели, морфологические и физиологические изменения в легких при комбинированной стрессовой альтерации легких форсированным снижением двигательной активности и снижением температуры окружающей среды. Сочетанный эффект гипотермии и иммобилизации вызывался фиксацией животных в тесной камере, объем которой составлял 80 см<sup>3</sup>, в течение 10 дней на протяжении 6 ч. Камера, за счет мелких отверстий, имела сообщение с окружающей средой, где поддерживалась температура + 3 + 4 °С [10, 12].

Системная и легочная гемодинамика изучалась на аппарате Реан-Поли с запи-

сю реопульмонограммы, реограммы (РГ), дифференциальной кривой и электрокардиограммы во втором стандартном отведении. Описанный способ регистрации кровообращения и наложения токовых и потенциальных электродов был разработан на кафедре нормальной физиологии Медицинского университета «Астана» [12, 13].

После эвтаназии легкие крыс извлекались из грудной клетки и взвешивались. У половины животных (7 крыс) изучалось оводнение легких путем высушивания в сухожаровом шкафу, расчета весового коэффициента (ВК) и сухого остатка (СО). У семи животных ткань легких забиралась на гистологическое исследование. После окраски срезов гематоксилином и эозином проводилось микроскопическое описание препаратов. При обработке полученных результатов использовали общепринятый метод статистики с использованием компьютерной прикладной программы Statistica 6,0 и Microsoft Exsell Professional. Достоверность полученных результатов оценивали с использованием t-критерия Стьюдента.

#### Результаты исследования и их обсуждение

РГ проводилась при частоте переменного тока в среднем, силе тока и напряжении на электродах 4В.

Сущность реографического метода заключается в регистрации кривой, которая отражала изменения электрического сопротивления тканей и органов, находящихся между электродами при ритмичной деятельности сердца.

Через исследуемый участок тела пропускался ток высокой частоты (50 кГц) и малой силы (2–3 мА). Исследуемая область тела для пропускаемого тока представляла определенное сопротивление. Высокочастотный ток, проникая глубоко в ткани изучаемого участка, распределялся по пути наименьшего сопротивления, то есть по кровеносным сосудам, в которых электрическое сопротивление закономерно изменялось при каждой пульсовой волне. Изменения электрического сопротивления в зависимости от систолы и диастолы вызвали колебание напряжения в цепи, которое улавливалось реографом, передавалось на самописец, усиливалось и регистрировалось в виде реографической кривой. В качестве самописца использовался электрокардиограф ЭК4Т-02.

Контурный анализ реографической кривой сводился к ее качественной и количественной оценке. При визуальной оценке изучали ритмичность, регулярность и форму реографических волн, устойчивость их

элементов, характер вершины, крутизну анакротической и катакротической фаз, количество и выраженность пресистолических венозных волн.

Качественная оценка реограммы сводилась к измерению амплитудных и временных отрезков кривой, которые отражали состояние тонуса сосудов, их эластичность, величину ударного объема.

К амплитудным показателям относились:

– Ас – амплитуда систолической волны в мм, основная амплитуда реограммы, измеряется от основания систолической волны до высшей точки реограммы, данный показатель отражает уровень максимального пульсового колебания кровенаполнения и степень раскрытия сосудистого русла;

– Ад – амплитуда диастолической волны в мм, или диастолический индекс, измеряется от основания диастолической волны до высшей ее точки, отражает степень периферического сопротивления оттоку крови из артерий в область мелких вен.

Расчет амплитуды в омах производится путем деления амплитуды кривой в миллиметрах на высоту калибровочного импульса в миллиметрах и умножения полученной величины на постоянную величину калибровочного сигнала реоплетизмографа в Омах (0,1 или 0,5).

Временные показатели РГ представляют собой промежутки времени между зубцом Q на ЭКГ и началом РГ волны (t) и между другими характерными точками на РГ-волне. Систолическая волна на зарегистрированных нами реограммах интактных (здоровых) крыс характеризовалась вначале крутым подъемом, а затем приобретала более пологий характер и переходила в закругленную вершину. Соответственно, этим отрезком анакроты мы определяли фазы быстрого (Еб, с) и медленного систолического кровенаполнения (Ем, с), длительность всей анакроты обозначали как период максимального кровенаполнения (Е макс, с). Интервалу от зубца Q ЭКГ до начала подъема реографической кривой, отражающему время распространения пульсовой волны на участке сердце – исследуемая ткань соответствовал период напряжения (Т, с) при фазовом анализе систолы желудочков сердца. Точка перехода от крутой к более пологой части восходящего колена указывала на максимальную скорость наполнения сосудов в фазе быстрого систолического кровенаполнения. Дифференциация этой точки на реографической кривой (объемной реограмме) затруднительна, но четко обнаружилась на первой производной, отражающей скорость изменения регистрируемого процесса во времени (дифферен-

циальной реограмме), являясь вершиной основного зубца. Следующий период, который мы определяли по реограмме – время общего кровенаполнения мозговых сосудов ( $E_0, c$ ) – отрезок кривой от начала до точки максимального углубления инцизуры, расположенной на катакроте, и отражает колебания сопротивления в момент захлопывания полулунных клапанов сердца.

Исходя из полученных амплитудных и временных данных реограммы, рассчитывались следующие основные показатели:

– Реографический индекс – (РИ) отношение амплитуды систолической волны в миллиметрах к величине калибровочного импульса в миллиметрах. Вместе с амплитудной систолической волны РИ характеризовал величину пульсового кровенаполнения легких (выражается в относительных единицах).

– Коэффициент систоло-диастолического отношения ( $A_c/A_d$ ) – отношение амплитуды систолической волны к амплитуде диастолической, отражающее степень преобладания артериального притока во время систолы над венозным оттоком во время диастолы.

– Амплитудно-частотный показатель (АЧП) – отношение реографического индекса (РИ) к длительности сердечного цикла (RR). АЧП характеризует величину объемного кровотока в исследуемой области в единицу времени.

Частота дыхания у здоровых животных равнялась  $76 \pm 3,03 \text{ мин}^{-1}$ . При этом  $0,33 \pm 0,01 \text{ с}$  приходилось на фазу вдоха, а  $0,32 \pm 0,01 \text{ с}$  на фазу выдоха; дыхательная пауза была очень короткой и измерить ее продолжительность не представлялось возможным.

Реографическая кривая здоровых животных напоминала обычную сфигмограмму, состоящую из восходящего систолического участка, отражавшего приток крови к легочным сосудам и пологого диастолического отрезка, который, в зависимости от наличия и высоты дикротической волны, свидетельствует о характере венозного оттока крови к сердцу.

Нами было обнаружено, что продолжительность фаз изгнания крови из сердца и период напряжения его миокарда остается неизменным вне зависимости от фаз дыхательного цикла. Однако амплитудные показатели реопульмонограммы существенно разнятся на вдохе и выдохе. У здоровых животных амплитуда систолической волны равнялась  $1,12 \pm 0,04 \text{ Ом}$ , в то время как амплитуда диастолы была  $0,68 \pm 0,03 \text{ Ом}$ . Реографический индекс при этом был равен  $0,5 \text{ Ом}$ . Систолю-диастолическое отношение

составляло  $1,65 \pm 0,09$ . На выдохе  $A_c$  и  $A_d$  снижались до  $0,42 \pm 0,07 \text{ Ом}$  и  $0,59 \pm 0,08 \text{ Ом}$  соответственно. РИ при этом изменялся незначительно и равнялся  $0,47 \pm 0,02 \text{ Ом}$ , однако систоло-диастолическое отношение понизилось значительно – до  $0,71 \pm 0,08 \text{ Ом}$ , что свидетельствовало о затруднении венозного возврата крови к сердцу через систему легочных вен.

При гистологическом исследовании ткани легких здоровых интактных крыс было обнаружено, что большая часть паренхимы лёгких – легочные альвеолы, которые выстланы уплощённым альвеолярным эпителием. Между альвеолами располагаются тонкие перегородки, в которых прослеживаются капилляры без признаков эритростаза, в просвете посткапиллярной венулы не обнаруживается диапедезных кровоизлияний, также не наблюдались признаки отека межальвеолярных перегородок. Лимфатические фолликулы в составе бронхов обнаруживались редко (рис. 1).

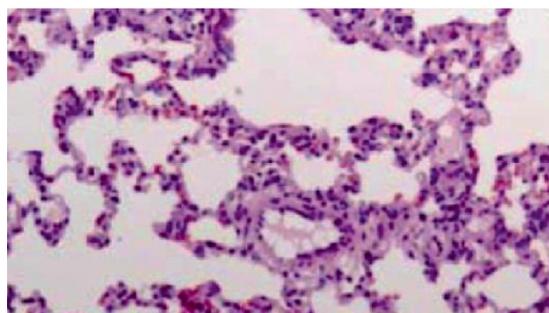


Рис. 1. Ткань легких здоровой крысы. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение  $\times 200$

Изменения РГ при стресс-индуцированной альтерации показали, что в первый день, до 1 часа опыта, отмечается стойкая тенденция к снижению уровня наполнения кровью легочных сосудов (весовой коэффициент снижался от 1,3 до 0,6). На это указывало изменение временных параметров РГ: укорочение отрезков времени, отражающих периоды полного изгнания крови из сердца и напряжения миокарда, снижение АЧП). Амплитудные показатели также свидетельствовали об увеличении тонуса сосудов на уровне микроциркуляторного русла (снижение  $A_c$ , повышение  $A_d$ , уменьшение систоло-диастолического отношения  $A_c/A_d$  ниже единицы).

В дальнейшем, через 1 час после начала стрессорного воздействия, вероятно вследствие адаптации животных к экстремальным условиям и включению механизмов противодействия стрессу, перечислен-

ные изменения стремились к нормализации (к уровню контрольных животных). В это время амплитудные и временные показатели у всех крыс контрольной группы, за исключением двух не отличались от таковых у здоровых животных. Однако после второго часа эксперимента вновь наступали изменения, аналогичные отмечавшимся в первый час опыта, и более того, они усугублялись.

Перечисленные нарушения сохранялись до последнего дня экспериментальной серии.

Гистологическое описание легочной ткани проводили у семи крыс (группа 3а) на пятые, а у остальных (группа 3б) – на десятые сутки от начала эксперимента.

Характерные морфологические признаки легочной ткани были однонаправленными у всех контрольных животных.

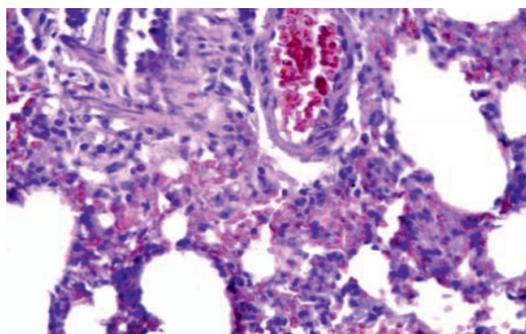
Гистологическая картина легочной ткани животных группы 3а (окраска гематоксилином и эозином; увеличение  $\times 200$ ) свидетельствовала о значительных сдвигах микроциркуляторного кровообращения, что проявлялось на срезах признаками стаза эритроцитов на уровне посткапиллярных

сосудов, диапедезными кровоизлияниями из капилляров, отеком межальвеолярных перегородок.

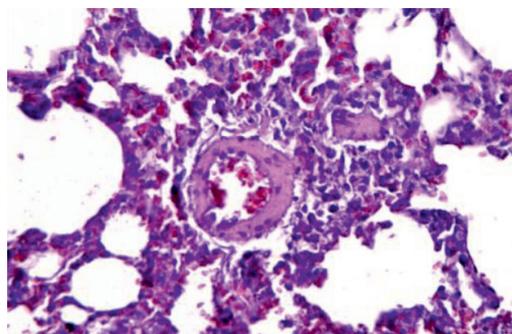
В ткани легких подопытных крыс отмечали развитие острого полнокровия капилляров и посткапиллярных венул со стазом эритроцитов. Отмечались отек межальвеолярных перегородок и диапедезные кровоизлияния из сосудов капиллярного типа (рис. 2). Также отличительными особенностями в это время были фибриноидное набухание стенок артериол, которые были фрагментарно спазмированными и в их просветах обнаруживалось небольшое количество красных кровяных клеток. Отмечалось полнокровие и парез расширенных капилляров, что свидетельствовало о прогрессирующей тканевой гипоксии (рис. 3).

На фоне полнокровия венозного участка микроциркуляторного русла отмечали частичный спазм и малокровие артериол, а в сосудистых стенках – фибриноидное набухание (рис. 4).

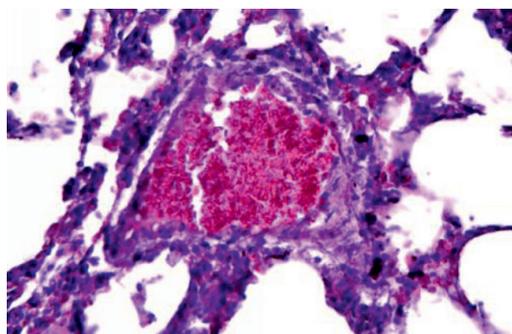
Расстройство микрогемодикуляции сопровождалось паретическим расширением капилляров.



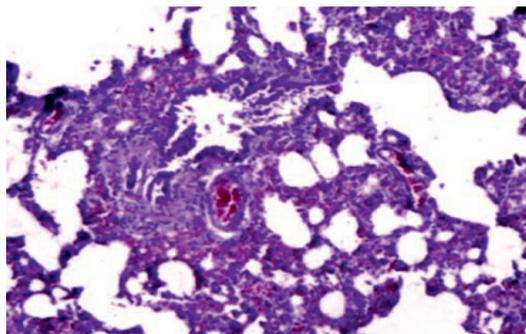
*Рис. 2. Острое полнокровие. Стаз эритроцитов*



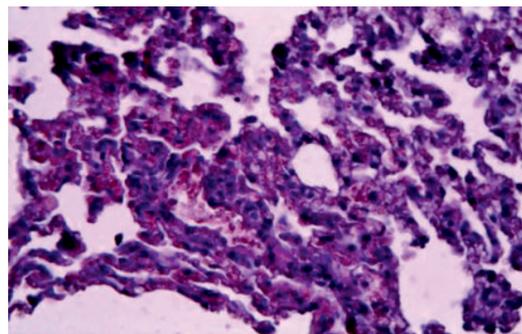
*Рис. 3. Отек межальвеолярных перегородок и диапедезные кровоизлияния*



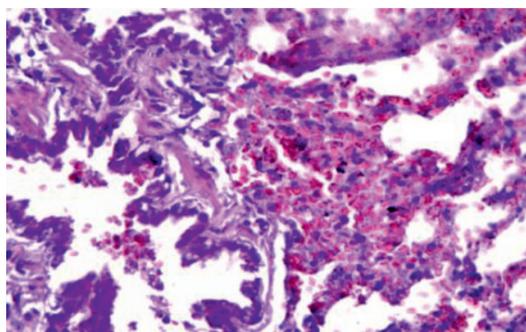
*Рис. 4. Парез капилляров. Сладжирование эритроцитов*



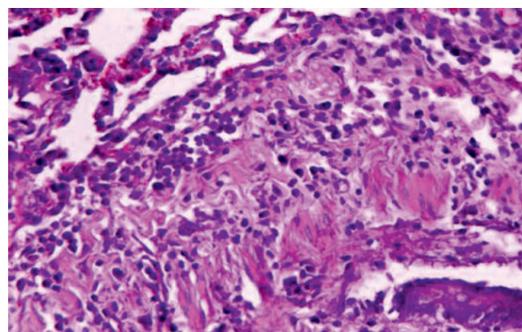
*Рис. 5. Бронхоспазм с очаговой пролиферацией и десквамацией эпителиальной ткани слизистой оболочки бронхов*



*Рис. 6. Дистелектаз паренхимы легких и наличием эритроцитов в просветах щелевидных альвеолярных ходов*



*Рис. 7. Диapedез лимфоцитов с лимфоцитарной инфильтрацией стенки бронха*



*Рис. 8. Диapedез лимфоцитов с лимфоцитарной инфильтрацией стенки бронха*

На десятые сутки у крыс группы 3б отмечались еще более серьезные нарушения (окраска гематоксилином и эозином, увеличение  $\times 200$ ): наблюдались явления бронхоспазма с очаговой пролиферацией и десквамацией эпителиальной ткани слизистой оболочки бронхов (рис. 5), дистелектаза паренхимы легких и наличием эритроцитов в просветах щелевидных альвеолярных ходов (рис. 6), кровоизлияниями в перибронхиальной ткани с диapedезом эритроцитов в просвет бронха (рис. 7), диapedез лимфоцитов с лимфоцитарной инфильтрацией стенки бронха и межальвеолярных перегородок на фоне повышенного кровенаполнения и очаговой эмфиземы (рис. 8).

#### **Выводы**

Таким образом, основные нарушения гемодинамики, вызванные сочетанным влиянием двух стрессорных факторов – длительной иммобилизации и пониженной температуры, проявляются в понижении уровня кровенаполнения легочных сосудов, повышении тонуса прекапилляров и веноз-

ном застое крови в легких. Гистологические и физиологические нарушения легочной ткани свидетельствуют о развивающихся к середине эксперимента реактивном бронхоспазме и тканевой гипоксии, крайними проявлениями которых становятся к концу опыта очаговая эмфизема и дистелектаз легочной паренхимы.

Результаты, полученные в этой работе, помогут теоретикам и врачам глубже понять механизмы изменений, происходящих в органах и тканях под влиянием комбинированного стресса во время пандемии COVID-19. Это также будет полезно для выявления особенностей сердечно-сосудистых осложнений, разработки моделей риска легочных и сердечных осложнений, а также для теоретического обоснования методов лечения.

#### **Список литературы**

1. Team TNCPERE. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19). China CDC Weekly. 2020. Vol. 2 (8). P.113–122.
2. Cowan L.T., Lutsey P.L., Pankow J.S., Matsushita K., Ishigami J., Lakshminarayan K. Inpatient and outpatient infec-

tion as a trigger of cardiovascular disease: the ARIC study. *J Am Heart Assoc.* 2018. Vol. 7 (22). P. e009683–e009683.

3. Tell Leonid. The Best Way to Prevent and Treat coronavirus Infections. *Acta Scientific Medical Sciences.* 2020. Vol. 4.8. P. 12–14.

4. Madjid M., Miller C.C., Zarubaev V.V., et al. Influenza epidemics and acute respiratory disease activity are associated with a surge in autopsy-confirmed coronary heart disease death: results from 8 years of autopsies in 34,892 subjects. *Eur Heart J.* 2007. Vol. 28 (10). P. 1205–1210.

5. Серебряков И.С., Романова Л.К. Респираторный отдел лёгких интактных мышей линии BALB // *Архив анатомии, гистологии и эмбриологии.* 1984. Т. 86. № 5. С. 56–63.

6. Chen X., Li L., Hu J, Zhang C., Pan Y., Tian D. Anti-inflammatory effect of dexmedetomidine combined with hypothermia on acute respiratory distress syndrome in rats. *J Surg Res.* 2017. Vol. 216. P. 179–184.

7. Dutta S.M., Mustafi S.B., Raha S, Chakraborty S.K. Bio-monitoring role of some cellular markers during heat stress-induced changes in highly representative freshwater mollusc, *Bellamyia bengalensis*: Implication in climate change and biological adaptation. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018. Vol. 157. P. 482–490.

8. Bartolomucci A., Wookey P.J., et al. Social factors and individual vulnerability to chronic stress exposure. *Neuroscience biobehavior review.* 2005. Vol. 29. № 1. P. 67–81.

9. Bernatova I., Csizmadinova Z. Effect of chronic social stress on nitric oxide synthesis and vascular function in rats with family history of hypertension. *Life sciences.* 2006. Vol. 78. № 15. P. 726–732.

10. Khamchiev K.M. Hemodynamics in the lungs of rats with hypothermia on the background of immobilization. *International journal of applied and fundamental research.* 2015. Vol. 6. № 2. P. 252–254.

11. Khamchiev K.M., Absatirova V.K., Ostanin A.A., Shmidt K.V. Influence of hypothermia and immobilization on the main functions of a human body. *Astana of Meditsinalyk journal.* 2014. № 1. P. 7–11.

12. Khamchiev K.M., Shandaulov A.Kh., Ibraeva S.S., Ostanin A.A., Zhiyengalieva A.K. Morphological and functional changes of lungs with the complex effect of immobilization and hypothermia. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation.* 2020. Vol. 24. Issue 08. P. 13915–13921.

13. Ibrayeva S.S., Khamchiyev K.M., Ibrayeva G.S., Rakhimzhanova Zh.A., Shandaulov A.Kh. The general conditions of animals after the dual stress effect. *Science and world.* 2017. Vol. 3. № 4 (44). P. 70–71.

## ОБЗОРЫ

УДК 617-089.844

**ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИЯ**

**Бойко А.Е., Кокушин Д.Н., Баиндурашвили А.Г., Виссарионов С.В., Мульдьяров В.П.**  
*ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, e-mail: lex.trol@mail.ru*

В статье представлен анализ данных отечественных и зарубежных исследований по вопросам актуальности использования в качестве предоперационной подготовки трехмерных технологий моделирования, прототипирования и трехмерной печати навигационных шаблонов при врожденных деформациях грудного и поясничного отделов позвоночника у детей. Был проведен анализ 60 научных публикаций, из них по поставленному вопросу было выбрано 27 статей, из которых 9 публикаций – отечественные, остальные – зарубежные. К основным плюсам использования 3D-прототипирования относятся: повышение точности проведения транспедикулярных винтов (ТВ), что снижает риск их мальпозиции, тем самым предупреждая повреждения содержимого позвоночного канала, со всеми вытекающими последствиями; сокращение времени проведения оперативного вмешательства, а также уменьшение интраоперационной кровопотери, что снижает потребность проведения гемотрансфузии у больных в послеоперационном периоде. Немаловажным дополнительным преимуществом является тактильная ощущаемая напечатанная модель у хирурга во время операции, что позволяет сориентироваться при проведении ТВ в ходе операции. Статистически достоверным и доказанным является факт уменьшения количества снимков, выполненных интраоперационно, тем самым снижая лучевую нагрузку на хирурга и на пациента. При анализе научных публикаций, посвященных 3D-прототипированию в хирургии позвоночника, выяснилось, что применение данной методики стало чаще использоваться в последние годы из-за высокой перспективности и большого потенциала в оперативной ортопедии у детей.

**Ключевые слова:** врожденная деформация позвоночника, транспедикулярные винты, трехмерная печать, 3D-прототипирование, позвоночник

**SURGICAL TREATMENT OF CHILDREN WITH CONGENITAL DEFORMITIES OF THE THORACIC AND LUMBAR SPINE USING 3D PROTOTYPING TECHNOLOGIES**

**Boyko A.E., Kokushin D.N., Baidurashvili A.G., Vissarionov S.V., Muldiyarov V.P.**  
*G.I. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, St. Petersburg, e-mail: lex.trol@mail.ru*

The article presents an analysis of data from domestic and foreign studies on the relevance of using three-dimensional modeling technologies, prototyping and three-dimensional printing of navigation templates for congenital deformities of the thoracic and lumbar spine in children as preoperative preparation. About 60 scientific publications were analyzed, of which 27 articles were selected for the analysis of information on the issues raised, of which 9 were domestic, and the rest were foreign. The main advantages of using 3DP include improving the accuracy of screws, which reduces the risk of their malposition, thereby preventing damage to the contents of the spinal canal, with all the ensuing consequences; reducing the time of surgery, as well as reducing intraoperative blood loss, which allows the patient to recover much faster in the postoperative period. A very important additional advantage is the tactile, sensed printed model of the surgeon during the operation, which allows you to orient yourself for screws during the operation. Statistically reliable and proven is the fact of reducing the number of images performed intraoperatively, thereby reducing the radiation load on the surgeon and on the patient. When analyzing scientific publications devoted to 3D prototyping in spine surgery, the use of this technique has become the most common practice in recent years, as a result of the high prospects and great potential in operative orthopedics in children.

**Keywords:** congenital deformity of the spine, transpedicular support elements, three-dimensional printing, 3D prototyping, spine

До настоящего времени хирургическое лечение детей с врожденными деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника является одной из важных и актуальных проблем детской ортопедии. При хирургическом лечении сколиотической деформации, деформации при нарушениях сегментаций позвонков отмечается тен-

денция к применению металлоконструкции с транспедикулярными опорными элементами. Данные металлоконструкции воздействуют на все три колонны позвоночного столба по сравнению с крючковыми металлоконструкциями, так что представляется возможным добиться большей величины коррекции искривления, стабильной и на-

дежной фиксации, истинного деротационного эффекта позвонков на вершине дуги в ходе операции, а также предупреждения дальнейшего прогрессирования деформации в послеоперационном периоде [1–3]. Однако тотальная, мультисегментарная транспедикулярная фиксация позвонков, особенно в деформированных сегментах верхнегрудного и среднегрудного отделов позвоночника, достаточно сложна и представляет собой ответственный и технически сложный момент вмешательства [3–6]. Возможно развитие различных серьезных осложнений при некорректном проведении ТВ, таких как перфорация и перелом корня дуги позвонка, стеноз позвоночного канала опорными элементами, повреждение твердой мозговой оболочки и спинного мозга, а также травма крупных кровеносных сосудов [6–8]. Как правило, такие осложнения распознаются во время операции или в раннем послеоперационном периоде [9, 10]. Например, бессимптомная перфорация дужки позвонка осложняется пролежнями твердой мозговой оболочки с нарушением ликвородинамики и радикулопатии [11, 12]. Поэтому определение тактики хирургического лечения врожденных деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника ставит перед хирургом-ортопедом ряд непростых задач, для решения которых необходим тщательный анализ и предоперационное планирование с применением современных методов диагностики. Одной из важнейших задач, стоящей перед вертебрологом, является наиболее точная визуализация позвоночника пациента для детальной оценки типа аномалии развития, точный выбор зоны фиксации позвонков, оценка возможности инструментации и подбора эффективной тактики дальнейшего вмешательства на позвоночнике у данной группы пациентов [13]. Одними из возможных вариантов решения проблем корректной установки транспедикулярных опорных элементов при хирургическом лечении детей с врожденными деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника является использование 2D-флюоронавигации, 3D-флюоронавигации, 3D-КТ навигации с регистрацией по анатомическим ориентирам [3]. В последнее время широкое распространение получила технология 3D-прототипирования, позволяющая создать одноразовый персонализированный хирургический инструмент – навигационный шаблон [9].

С 2013 г. возросла частота применения 3D-печати и в хирургии [14, 15]. В настоящее время выделяют следующие категории

3D-печати в хирургической практике: изготовление протезов и имплантатов, изготовление копий анатомических моделей; изготовление хирургических инструментов для выполнения оперативных пособий [15].

3D-шаблоны могут применяться для визуализации важных анатомических структур и ориентиров; изучения измененных анатомо-антропометрических особенностей тел позвонков в дуге искривления при врожденных деформациях грудного и поясничного отделов позвоночника; симуляции оперативного вмешательства для предупреждения возможных осложнений на операционном столе; предварительного подбора формы хирургических инструментов или их испытания на муляжах. Изучение анатомии измененного органа или сегмента у пациента с помощью напечатанного 3D-навигационного шаблона обладает большим преимуществом перед просмотром снимков той же области на мониторе [15]. Во многих медицинских хирургических специальностях передовых клиник анатомические модели являются незаменимой частью предоперационного планирования [16, 17].

Актуальность использования данного вида предоперационного планирования в хирургии позвоночника у детей определяется рядом причин: наличием у пациентов тяжелых врожденных деформаций позвоночника, нуждающихся в оперативном лечении; хирургические сложности в выполнении операций у детей с резко выраженными изменениями анатомии позвоночника при врожденных деформациях, требующие новых возможностей визуализации по итогам предоперационного обследования; необходимость модернизации существующих методов и поиск новых подходов в лечении детей, примером которых является оперативные вмешательства с использованием 3D-прототипирования.

Персонификация анатомии органа или сегмента достигается благодаря созданию 3D-моделей на основе данных, полученных при помощи различных методов трехмерной медицинской визуализации: мультиспиральная компьютерная томография (МКТ), магнитно-резонансная томография (МРТ), системы лазерного сканирования, позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и даже фотографии, сделанные при помощи смартфона [18].

Цель данной работы заключается в изучении и оценке данных зарубежных и отечественных научных публикаций с применением 3D-прототипирования в хирургии детей с врожденными деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника.

### Материалы и методы исследования

Для научного обзора изучено около 60 научных публикаций, представленных анализом данных по применению прототипирования и трехмерной печати в хирургии позвоночника. Среди них было выделено 26, из них 9 – отечественных, остальные публикации – зарубежные, в которых были приведены сведения об использовании трехмерных компьютерных технологий при предоперационном планировании коррекции деформации позвоночника у детей.

### Результаты исследования и их обсуждение

В современной отечественной и зарубежной литературе достаточно широко описаны методы хирургического лечения с врожденными деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника у детей. Для наиболее полноценной картины состояния ребенка с аномалиями развития позвоночника проводят полный комплекс обследований с применением современных методов лучевой диагностики (рентгенография в двух проекциях, МСКТ, МРТ всех отделов позвоночника). Однако не всегда удается получить полную картину деформации у ребенка для подбора наилучших хирургических техник [13]. Так, в исследовательской работе Y.T. Wang с соавторами (2016) было установлено, что применение индивидуальных 3D-моделей, созданных при помощи 3D-прототипирования, позволяет детально провести предоперационное планирование хирургического вмешательства, тем самым способствуя сокращению времени операции, что позволяет уменьшить операционную травму и интраоперационную кровопотерю. В свою очередь у пациента происходит ускорение послеоперационной реабилитации [19].

В 2016 г. группа авторов провела исследование на тему: «Преимущества и недостатки 3D-печати в хирургии». Авторы анализируют 158 хирургических операций, с использованием 3D-моделирования. 3D-технологии применялись для создания имплантов, для получения анатомических моделей и интраоперационной навигации. Эти цели реализовывались в первую очередь в ортопедических и челюстно-лицевых операциях. Основные преимущества, отмеченные исследователями, – сокращение времени операции. В качестве недостатков отмечены дополнительные расходы и время, требующиеся для создания навигационного шаблона [20]. За последние 5 лет проведено немногочисленное количество научных исследований по теме хирургического лече-

ния врожденных деформаций позвоночника у детей старшего возраста, при которых использовалось предоперационное планирование с использованием 3D-шаблонов [21, 22]. В научных публикациях авторы делятся своим опытом применения 3D-технологий прототипирования для отдельно взятой деформации позвоночника, самой характеристики деформации, и количестве установленных винтов, однако достаточно редко приводят статистические данные о результативности применения [23]. Так в работе Mao et al., где применялся метод предоперационной 3D-реконструкции и быстрого прототипирования, проходили исследования 16 детей со сложными тяжелыми деформациями позвоночника: 3 – идиопатический кифосколиоз, 11 – врожденный сколиоз, 2 ребенка – нервно-мышечный сколиоз. Использование 3D-полистирольных моделей, по мнению авторов, могло бы обеспечить более точную морфометрическую информацию и облегчить хирургическую коррекцию сложной тяжелой деформации позвоночника у детей. Однако никаких исследований по выявлению эффективности технологии 3D-прототипирования у пациентов с подростковым идиопатическим сколиозом не проводилось [23, 24]. В работах Mingyuan Yang, Chao Li проведено ретроспективное исследование по оценке эффективности технологии трехмерного быстрого прототипирования в коррекции деформации позвоночника у 126 пациентов с подростковым идиопатическим сколиозом типа Lenke 1: группа А (n = 50) использовали технологии 3D-прототипирования для создания модели деформированного позвоночника, группа В (n = 76) – ТВ установлены методом «свободной руки». Авторами сделан вывод о значительном сокращении времени операции ( $184,32 \pm 4,65$  мин против  $212,32 \pm 8,17$  мин,  $P < 0,001$ ), снижении объема интраоперационной кровопотери ( $846,68 \pm 26,11$  мл против  $1029,65 \pm 72,18$  мл,  $P < 0,001$ ). Данные результаты позволяют рассмотреть вопрос о проведении дальнейших исследований для выяснения эффективности метода предоперационного планирования [23]. В исследованиях Yi-Tian Wang с соавторами (2016) представлены описания четырех клинических случаев заболеваний позвоночника у детей: врожденный сколиоз, новообразование атланта, атлантаксиальный вывих и переломовывих атлантаксиального сочленения. При использовании 3D-моделей уменьшается время операции и интраоперационной кровопотери, предоставляется лучшая визуальная и тактильная информация, а также корректно и безопасно проводятся транспе-

дикулярные опорные элементы [25]. По результатам многочисленных литературных данных, величина мальпозиции винтов в грудном и поясничном отделах позвоночника у детей при коррекции деформации составляет огромный разброс – от 1 до 58% в случаях использования методики «свободной руки» [13]. В исследованиях Д.Н. Кокушина с соавторами (2018) описан метод применения технологии 3D-прототипирования у детей с врожденными деформациями поясничного отдела позвоночника с использованием шаблонов-направителей (ШН). Использование ШН дополнительно к 3D-моделированию способствовало повышению частоты корректной установки ТВ до 96,3% к 78,8% установки методом «свободной руки» ( $p = 0,011$ ). Полученные результаты их применения *in vitro* показали высокую точность и корректность установки ТВ, что дает перспективы использования данной методики в клинической практике у детей раннего возраста с врожденным сколиозом [26].

В исследовании А.А. Снеткова с соавторами (2020) проведена оценка использования аддитивных технологий при хирургии тяжелых врожденных деформаций позвоночника у 20 пациентов от 4 до 19 лет. Пациенты разделены на 2 группы: группа А – проводили стандартную предоперационную подготовку, в группе В – предоперационная подготовка проводилась с использованием предварительно изготовленной 3D-модели позвоночника. Авторами отмечено, что в группе В значительно снижено время, затраченное на проведение ТВ; гораздо меньше травматизация костной структуры при формировании канала при измененной анатомии, что снижает риск повреждения сосудисто-нервного пучка и спинного мозга. Авторы убеждены, что при данном предоперационном планировании количество снимков, сделанных интраоперационно с помощью электронно-оптического преобразователя, гораздо меньше, чем без 3D-моделирования, снижая при этом лучевую нагрузку на оперируемого и оперирующего. Одним из преимуществ 3D-шаблона является возможность тактильного ощущения хирургом напечатанной модели, что позволяет лучше сориентироваться для проведения ТВ в ходе операции, особенно это касается сложной измененной анатомии позвоночника у детей, характерной для врожденной деформации грудного и поясничного отделов [13].

### Заключение

Анализ отечественной и зарубежной научной литературы показал достаточно огра-

ниченное использование и применение технологий 3D-прототипирования и 3D-печати при деформациях позвоночника у детей. Данные работ свидетельствуют об увеличении корректности установки ТВ в позвонки и уменьшении количества их мальпозиций, отмечено сокращение времени оперативного вмешательства и объема интраоперационной кровопотери. Использование 3D-прототипирования дает хирургу возможность тактильного ощущения напечатанной модели, позволяя получить более точное представление о сложной и измененной анатомии позвоночника при врожденной деформации грудного и поясничного отделов у детей. Использование навигационных шаблонов позволяет уменьшить лучевую нагрузку как на хирурга, так и на пациента. Применение технологий 3D-прототипирования в хирургии позвоночника у детей в последние годы получает всё большее распространение, что свидетельствует о перспективности и большом потенциале данного метода.

### Список литературы

1. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Беляничков С.М. Хирургическое лечение деформаций позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом транспедикулярными спинальными системами: пособие для врачей. СПб., 2014. С. 46.
2. Виссарионов С.В., Беляничков С.М., Кокушин Д.Н., Мурашко В.В. Результаты коррекции деформации позвоночника транспедикулярными спинальными системами у детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. 2013. № 3. С. 30–37.
3. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Дроздецкий А.П., Беляничков С.М. Технология использования 3D-КТ навигации в хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. 2012. № 1. С. 41–47.
4. Boss N., Webb J.K. Pedicle screw fixation in spinal disorders: a European view. Eur. Spine J. 1997. vol. 6. no. 1. P. 2–18. DOI: 10.1007/BF01676569.
5. Gaines RW. The use of pedicle-screw internal fixation for the operative treatment of spinal disorders. J. Bone Joint Surg. Am. 2000. vol. 82. No. 10. P. 1458–1476. DOI: 10.2106/00004623-200010000-00013.
6. Modi H.N., Suh S.W., Hong J.Y. Accuracy of thoracic screw using ideal pedicle entry point in severe scoliosis. Clin. Orthop. Relat. Res. 2010. vol. 468. P. 1830–1837. DOI: 10.1007/s11999-010-1280-1
7. Takahashi J., Hirabayashi H., Hashidate H., Ogihara N., Kato H., Accuracy of multilevel registration in image-guided pedicle screw insertion for adolescent idiopathic scoliosis. Spine. 2010. vol. 35. no. 3. P. 347–352. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181b77f0a.
8. Виссарионов С.В. Технологии коррекции деформаций позвоночника транспедикулярными спинальными системами у детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. 2013. № 1. С. 21–27.
9. Косулин А.В., Елякин Д.В., Лебедева К.Д., Сухомлинова А.Е., Козлова Е.А. Применение навигационного шаблона для прохождения ножки позвонка при транспедикулярной фиксации // Педиатр. 2019. Т. 10. № 3. С. 45–50.
10. Tsai T.T., Lee S.H., Niu C.C., Lai P.L., Chen L.H., Chen W.J. Unplanned revision spinal surgery within a week: a retrospective analysis of surgical causes. BMC Musculoskelet Disord. 2016. vol. 17. no. 28. DOI: 10.1186/s12891-016-0891-4.

11. Floccari L.V., Larson A.N., Stans A.A., Fogelson J., Helenius I. Delayed dural leak following posterior spinal fusion for idiopathic scoliosis using all posterior pedicle screw technique. *J. Pediatr. Orthop.* 2017. vol. 37. no. 7. P. e415-e420. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001008.
12. Woo E.J., DiCuccio M.N. Clinically significant pedicle screw malposition is an underestimated cause of radiculopathy. *Spine J.* 2018. vol. 18. no. 7. P. 1166–1171. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.11.006.
13. Снетков А.А., Горбатьюк Д.С., Пантелеев А.А., Еськин Н.А., Колесов С.В. Анализ применения 3D-прототипирования при хирургической коррекции врожденных кифосколиозов // *Хирургия позвоночника.* 2020. № 17 (1). С. 42–53.
14. Коваленко Р.А., Пташников Д.А., Черebilло В.Ю., Руденко В.В., Кашин В.А. Применение индивидуальных 3D-навигационных матриц для транспедикулярной фиксации субаксиальных шейных и верхнегрудных позвонков // *Хирургия позвоночника.* 2019. № 16 (2). С. 35–41.
15. Николаенко А.Н. Применение 3D-моделирования и трехмерной печати в хирургии (обзор литературы) // *Medline.Ru.* 2018. № 18. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.medline.ru/public/art/tom19/art2.html> (дата обращения: 15.05.2020).
16. Lee M., Wu B.M. Recent advances in 3D printing of tissue engineering scaffolds. *Methods Mol Biol.* 2012. vol. 868. P. 257–267. DOI: 10.1007/978-1-61779-764-4\_15.
17. Romano P.E. 3D Printing Surgical Models of Organs; or Lunch; Phone Screens; How To Do It (3D) Yourself; Computers that Track Your Eyes and Take Eye Commands. *Binocul Vis Strabolog Q Simms Romano.* 2013. vol. 28. no. 2. P. 121–128.
18. Kim G.B., Lee S., Kim H., Yang D.H., Kim Y.H., Kyung Y.S., Kim C.S., Choi S.H., Kim B.J., Ha H., Kwon S.U., Kim N. Three-Dimensional Printing: Basic Principles and Applications in Medicine and Radiology. *Korean Journal of Radiology.* 2016. vol. 17. no. 2. P. 182. DOI: 10.3348/kjr.2016.17.2.182.
19. Wang Y.T., Yang X.J., Yan B., Zeng T.H., Qiu Y.Y., Chen S.J. Clinical application of three-dimensional printing in the personalized treatment of complex spinal disorders. *Chin. J. Traumatol.* 2016. vol. 19. no. 1. P. 31–34. DOI: 10.1016/j.cjtee.2015.09.009.
20. Martelli N., Serrano C., van den Brink H., Pineau J., Prognon P., Borget I., El Batti S. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. *Surgery.* 2016. vol. 159 no. 6. P. 1485–1500. DOI: 10.1016/j.surg.2015.12.017.
21. Takemoto M., Fujibayashi S., Ota E., Otsuki B., Kimura H., Sakamoto T., Kawai T., Futami T., Sasaki K., Matsushita T., Nakamura T., Neo M., Matsuda S. Additive-manufactured patient-specific titanium templates for thoracic pedicle screw placement: novel design with reduced contact area. *Eur. Spine J.* 2016. vol. 25. no. 6. P. 1698–1705. DOI: 10.1007/s00586-015-3908-z.
22. Liu K., Zhang Q., Li X., Zhao C., Quan X., Zhao R., Chen Z., Li Y. Preliminary application of a multi-level 3D printing drill guide template for pedicle screw placement in severe and rigid scoliosis. *Eur Spine J.* 2017. vol. 26. no. 6. P. 1684–1689. DOI: 10.1007/s00586-016-49261.
23. Yang M., Li C., Li Y., Zhao Y., Wei X., Zhang G., Fan J., Ni H., Chen Z., Bai Y., Li M. Application of 3D Rapid Prototyping Technology in Posterior Corrective Surgery for Lenke 1 Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients. *Medicine (Baltimore).* 2015 Feb. vol. 94. No. 8. P. 582. DOI: 10.1097/MD.0000000000000582.
24. Mao K., Wang Y., Xiao S., Liu Z., Zhang Y., Zhang X., Wang Z., Lu N., Shourong Z., Xifeng Z., Geng C., Baowei L. Clinical application of computer-designed polystyrene models in complex severe spinal deformities: a pilot study. *Eur. Spine J.* 2010. vol. 19. no. 5. P. 797–802. DOI: 10.1007/s00586-010-1359-0.
25. Wang Y.T., Yang X.J., Yan B., Zeng T.H., Qiu Y.Y., Chen S.J. Clinical application of three-dimensional printing in the personalized treatment of complex spinal disorders. *Chin. J. Traumatol.* 2016 Feb. vol. 19. no. 1. P. 31–34. DOI: 10.1016/j.cjtee.2015.09.009.
26. Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Овечкина А.В., Познович М.С. Сравнительный анализ положения транспедикулярных винтов у детей с врожденным сколиозом: метод «свободной руки» (*in vivo*) и шаблоны-направители (*in vitro*) // *Травматология и ортопедия России.* 2018. Т. 24. № 3. С. 53–63. DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-53-63.

УДК 618.3:616.9-08

**ГЕРПЕТИЧЕСКАЯ ИНФЕКЦИЯ ВО ВРЕМЯ БЕРЕМЕННОСТИ****Петров Ю.А., Купина А.Д., Шаталов А.Е.***ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ростов-на-Дону, e-mail: fortis.petrov@gmail.com*

Вирус простого герпеса остается одним из самых распространенных этиологических факторов инфекционно-воспалительных заболеваний репродуктивной системы у женщин. В данном обзоре представлены основные морфологические свойства вируса, патогенез и клинические проявления герпетической инфекции, современные данные о заболеваемости в России и других странах среди всего населения и беременных женщин, выделены группы риска по развитию герпетической инфекции (в зависимости от пола, возраста, количества половых партнеров и т.д.). Описаны наиболее частые осложнения течения беременности и родов у данной группы пациенток (тяжелые формы гестозов, антифосфолипидный синдром, тромбофилия, преждевременный разрыв плодных оболочек, самопроизвольное прерывание беременности и т.д.), а также приведены данные о внутриутробных пороках развития плода (вентрикуломегалия, дисгенезия мозолистого тела, порэнцефалия, микроцефалия, гидроцефалия и микрофтальмия и др.), проанализированы возможные пути передачи инфекции от матери ребенку в период гестации и после родов. Описаны принятые в настоящее время подходы к диагностике и лечению беременных женщин с герпес-вирусной инфекцией, а также показания к проведению родоразрешения естественным путем или путем кесарева сечения.

**Ключевые слова:** вирус герпеса, самопроизвольный аборт, внутриутробные пороки развития, генитальный герпес, беременность

**HERPETIC INFECTION DURING PREGNANCY****Petrov Yu.A., Kupina A.D., Shatalov A.E.***Rostov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, e-mail: fortis.petrov@gmail.com*

Herpes simplex virus remains one of the most common etiological factors of infectious and inflammatory diseases of the reproductive system in women. This review presents the main morphological properties of the virus, the pathogenesis and clinical manifestations of herpes infection, current data on the incidence in Russia and other countries among the entire population and pregnant women, and identifies risk groups for the development of herpes infection (depending on gender, age, number of sexual partners and etc.). The most frequent complications of pregnancy and childbirth in this group of patients are described (severe forms of gestosis, antiphospholipid syndrome, thrombophilia, premature rupture of membranes, spontaneous abortion, etc.), as well as data on intrauterine malformations of the fetus (ventriculomegaly, dysgenesis, porencephaly, microcephaly, hydrocephalus and microphthalmia, etc.), possible ways of transmission of infection from mother to child during gestation and after childbirth are analyzed. The currently accepted approaches to the diagnosis and treatment of pregnant women with herpes virus infection are described, as well as indications for delivery by natural or cesarean section.

**Keywords:** herpes virus, spontaneous abortion, fetal malformations, genital herpes, pregnancy

В настоящее время наблюдается увеличение частоты герпетической инфекции в структуре инфекций, передающихся половым путем. Наиболее часто инфицированию вирусом простого герпеса подвергаются женщины репродуктивного возраста, что делает проблему внутриутробной вертикальной передачи плоду и инфицирования новорожденных актуальной в работе врача акушера-гинеколога. Также установлено, что вирус простого герпеса приводит к развитию различных акушерских осложнений и увеличивает риск формирования внутриутробных пороков развития.

Целью работы является анализ современных источников литературы, посвященных представлениям о влиянии герпетической инфекции на внутриутробное развитие плода, раскрытие особенностей течения периода гестации у пациенток с вирусом простого герпеса.

Инфекции женской репродуктивной системы остаются одной из самых актуальных проблем в работе врача акушера-гинеколога. Наиболее частыми этиологическими факторами инфекционно-воспалительных заболеваний половых органов являются *Candida spp.*, *Trichomonas spp.*, *Chlamydia spp.*, *N. gonorrhoeae*, *Gardnerella spp.*, которые могут причинять дискомфорт пациенткам, быть причиной бесплодия и осложнений гестационного периода [1]. Среди вирусных агентов ведущее место в структуре заболеваемости играют *Herpes simplex virus* (HSV) 1 и 2 [2].

В настоящее время герпес-вирусная инфекция у женщин и её влияние на течение беременности и родов привлекает внимание многих исследователей. HSV 2 является наиболее частой причиной генитального герпеса и передается преимущественно половым путем. HSV 1 регистрируется уже

в детском возрасте и обычно передается при несексуальных контактах [3]. Необходимо отметить, что структура генитального герпеса в некоторых развитых странах изменилась; например, в США вирус простого герпеса 1 серотипа является основной причиной генитального герпеса, особенно у молодых людей [4].

Наиболее часто инфицированию вирусом простого герпеса подвергаются женщины репродуктивного возраста, что делает проблему внутриутробной вертикальной передачи плоду и инфицирования новорожденных актуальной в современном здравоохранении [4]. Анализ наблюдений показывает, что первичное заражение матери HSV-инфекцией является одним из главных факторов развития у ребенка генитального герпеса. Женщина, которая впервые приобрела вирус простого герпеса во время, а не до беременности, во много раз повышает риск передачи HSV ребенку. Также к факторам риска интранатального и неонатального инфицирования относят применение кожных электродов у плода и возраст матери менее 21 года [2].

Герпес-вирусы 1 и 2 серотипа являются ДНК-содержащими, принадлежат к подсемейству *Alphaherpesvirinae* семейства *Herpesviridae* [5]. Входными воротами для обоих представителей является слизистая оболочка или поврежденные кожные покровы; они мигрируют по нервной системе и остаются в ней в латентном состоянии. HSV 1 обнаруживается преимущественно в ганглиях *n. trigeminus*, вызывая орофациальные поражения, а HSV 2 – в ганглиях пояснично-крестцового отдела. HSV 1 и 2 могут являться причиной инфекционно-воспалительного процесса как ротовой области, так и генитального тракта [6].

В последние десятилетия удельный вес генитального герпеса в структуре инфекций, передающихся половым путем, увеличился. Например, в США HSV 2 регистрируется у каждого пятого взрослого, в России частота составляет около 5 случаев на 100 человек, в странах Африки самые высокие показатели инфицирования – 30–80% женщин и 10–50% мужчин имеют данную инфекцию [5–7]. При этом в нашей стране большинство пациентов являются бессимптомными носителями и не знают о возможности вирусывыделения и заражения других людей [6]. Установлено, что пол и возраст являются факторами риска развития генитального герпеса. Распространенность герпес-вирусной инфекции низкая у детей и подростков (0,1 и 9,4 случая на 100 тыс. чел. соответственно), пик заболеваемости в РФ отмечается в возрасте после 20 лет

и в 35–40 лет [3, 8]. У женщин наблюдаются более высокие показатели заболеваемости генитальным герпесом, однако в большей мере на риск развития заболевания оказывает влияние количество половых партнеров [9, 10]. Кроме того, экономическое неблагополучие, злоупотребление алкоголем и/или наркотической зависимостью, раннее начало половой жизни, сексуальное поведение и наличие бактериального вагиноза могут повышать риск заражения женщин до беременности [4, 11].

Около 20% беременных женщин инфицированы ВПГ-2 и примерно 1–5% приобретают генитальный герпес во время беременности [12]. Опасность генитального герпеса в период гестации обусловлена высокой частотой самопроизвольного прерывания беременности, преждевременных родов, врожденных и неонатальных герпетических инфекций, задержки внутриутробного развития плода [13]. Также герпетическая инфекция ассоциирована с увеличением частоты тромбофилии и антифосфолипидного синдрома вследствие поражения эндотелия кровеносных сосудов HSV. При инфицировании женщин HSV 2 в третьем триместре риск заражения новорожденного составляет до 50–75%, в первом триместре – около 1–3% [2]. Это обусловлено тем, что при первичном инфицировании вирусом герпеса в конце периода гестации времени перед родами недостаточно для выработки антител, необходимых для подавления репликации вируса [1]. Внутриутробная передача ВПГ от матери к плоду встречается редко; более 85% перинатальной передачи происходит в процессе родов. В исследованиях показано, что коинфекция ВИЧ с ВПГ значительно увеличивает риск перинатальной передачи ВИЧ, прежде всего у женщин с подтвержденным диагнозом генитального герпеса во время беременности. При распространенных формах герпетической инфекции у матери трансплацентарное заражение может достигать 50% [14].

Новорожденный с генитальным герпесом может быть инфицирован и HSV-1, что составляет почти треть всех новых диагнозов [8]. Растущая доля генитальной герпетической инфекции, вызванной ВПГ-1, предполагает, что в настоящее время существует риск передачи ВПГ-1 новорожденному при наступлении беременности у молодых девушек [4]. При этом HSV-1 в детском возрасте уменьшился, так что больше молодых людей являются ВПГ-серонегативными, когда становятся сексуально активными [14]. Это объясняет наблюдаемое увеличение впервые выявленной инфекции HSV-1 репродуктивной системы в данной возрастной группе.

Генитальный герпес в большинстве случаев протекает бессимптомно [15]. Клинические проявления данного заболевания возникают спустя 2–21 день после инфицирования и включают: сыпь и изъязвления наружных половых органов и шейки матки, диспареунию, дизурию, выделения из влагалища, локальную лимфоаденопатию [16]. Также наблюдаются везикулярные и язвенные поражения внутренней поверхности бедра, ягодиц, промежности и/или перианальной зоны. Как у мужчин, так и у женщин при первичном инфицировании могут быть системные проявления, такие как лихорадка, головная боль и миалгия (38% у мужчин, 68% у женщин), иногда менингит и вегетативная невропатия, приводящая к задержке мочи, главным образом у женщин [17, 18]. Герпетический менингит обнаруживается у 40% с первичным HSV-2, у 12% – с первичным HSV-1 и у 1% пациентов с рецидивирующим течением заболевания. При этом системные проявления могут быть единственными симптомами заболевания. Установлено, что наличие антител к 1 серотипу герпес-вируса может облегчить течение при последующем приобретении 2 серотипа [1].

Наиболее опасной в период гестации является первичная HSV-инфекция, которая приводит к более серьезным осложнениям у беременных женщин по сравнению с небеременными. В частности, повышается частота развития острого гингивостоматита и герпетического вульвовагинита [12]. В результате у пациенток могут обнаруживаться диссеминированное поражение кожи, поражение внутренних органов (гепатит, энцефалит, менингит, тромбоцитопения, лейкопения и коагулопатия) [6, 19]. Несмотря на то, что распространенная форма ВПГ-инфекция редко встречается в период гестации, смертность при ней составляет около 50%. У беременных женщин в III триместре с первичным инфицированием слизистых оболочек повышается риск не только передачи ВПГ ребенку при вагинальных родах, но и развития распространенных форм герпетической инфекции [2, 18].

Рецидивы герпетической инфекции характеризуются менее длительным (7–10 дней) и более легким течением и в подавляющем большинстве случаев обусловлены HSV 2 [12]. Опасны бессимптомные фазы между клинически выраженными вспышками генитального герпеса, поскольку герпес-вирус может периодически реактивироваться в инфицированных клетках сенсорных ганглиев и мигрировать через нейрональные аксоны обратно к слизистой оболочке половых органов без клинических признаков или симптомов [1]. Этот

механизм известен как бессимптомное выделение вируса; большая часть половой передачи HSV происходит в течение данных бессимптомных периодов. Кроме того, было показано, что бессимптомное выделение чаще выявляется у женщин с HSV 2, по сравнению с женщинами с HSV 1 [7, 18].

Рецидивирующий генитальный герпес является наиболее частой причиной неонатального инфицирования (путь передачи – прохождение по родовому каналу). При проведении операции кесарева сечения риск инфицирования ребенка значительно снижается. Передача HSV женщинам с бессимптомным вирусом выделением представляет актуальную проблему, поскольку новорожденные в большинстве случаев приобретают инфекцию, а диагностика и лечение в этом случае проводятся несвоевременно [17].

При инфицировании плода в антенатальном периоде возможно возникновение различных нарушений развития. В литературе описаны случаи нарушений формирования головного мозга, наиболее часто встречаются вентрикуломегалия, дисгенезия мозолистого тела, порэнцефалия, микроцефалия, гидроцефалия и микрофтальмия, которые могут быть обнаружены на этапе пренатальной диагностики [13]. Также на фоне герпетической инфекции у матери возможно развитие анемии у плода, аномалий печени и сердечно-сосудистой системы (данные нарушения встречались преимущественно при HSV 2) [12]. После рождения у данной группы детей отмечаются хориоретинит, герпетический кератит, анэнцефалия, порэнцефалия, аномалии мозжечка, кровоизлияния в мозг, внутричерепная кальцификация. Постнатальное инфицирование в большинстве случаев ассоциировано с HSV 2 (81%) [13]. Также современные наблюдения показывают, что отсутствует корреляция со временем и типом инфекции ВПГ: как и при других врожденных инфекциях (ЦМВ, краснуха, токсоплазмоз), риск возрастает при инфицировании на ранних сроках беременности, но появление HSV в последнем триместре не исключает возможность появления тяжелых последствий для плода [13, 20, 21].

Диагностика герпес-вирусной инфекции у беременных осложнена ввиду возможного наличия только системных проявлений, невыраженных локальных симптомов или полного отсутствия клинических проявлений [15]. Кроме того, между периодами обострения существуют бессимптомные периоды с продолжающимся вирусом выделением. Инфекция HSV может быть идентифицирована непосредственно

при обнаружения вируса (содержимое везикул, мазки-отпечатки, ПЦР) или при анализе специфических сывороточных антител к вирусу [10, 16].

Трудности для диагностики возникают при подозрении у беременной герпетического гепатита. Золотым стандартом верификации является биопсия печени с последующим гистологическим исследованием. При гепатите, вызванном HSV, патогномичными являются геморрагический некроз, воспаление и увеличение ядер (матовое стекло) с маргинализированным хроматином [14]. Однако инвазивное исследование связано с высоким риском неконтролируемого кровотечения вследствие нарушения свертываемости крови. Данной группе пациенток рекомендуется эмпирическое лечение, а также проведение диагностики путем определения специфических антител IgM и ПЦР при наличии лихорадки и повышения уровня печеночных трансаминаз по данным биохимического исследования крови [19].

Лечение беременных женщин с первичным генитальным герпесом или его рецидивом проводится с помощью ацикловира или валацикловира в рекомендуемых дозах [22, 23]. Поскольку ацикловир и валацикловир официально не одобрены для лечения беременных, пациенты должны быть проинформированы о возможных побочных эффектах. Рандомизированные исследования показали, что терапия ацикловиром и валацикловиром с 36-й недели беременности до родов значительно снижает частоту клинических проявлений и интенсивность выделения вируса во время родов, тем самым уменьшая потребность в кесаревом сечении и, вероятно, риск вертикальной передачи [22].

Если генитальный герпес возникает в первом или втором триместрах беременности, то рекомендуется проводить вирусологическое исследование с 32 недели гестации. Если два исследования отрицательны и нет признаков активной герпетической инфекции на гениталиях, то возможно проведение родоразрешения естественным путем [12, 17]. Женщинам, у которых за несколько недель до предполагаемой даты родов был эпизод рецидивирующего генитального герпеса, рекомендуется проведение терапии ацикловиром или валацикловиром в течение последних 4 недель гестации, а также вирусологическое исследование мочевого влагалищных выделений с 36-й недели беременности. В случае отсутствия клинических проявлений и положительных результатов тестов на обнаружение вируса выполняется плановое кесарево сечение [1, 18].

Всем пациенткам с рецидивирующей герпетической инфекцией на этапе планирования беременности рекомендуется проведение комплексной прегравидарной подготовки [24, 25]. В исследовании показано, что применение рекомбинантного человеческого интерферона, антикоагулянтов, антиагрегантов и антиоксидантов снижает частоту развития тяжелых форм гестозов, тромбофилии, антифосфолипидного синдрома, фетоплацентарной недостаточности, преждевременного разрыва плодных оболочек и угрозы прерывания беременности [26].

### Заключение

Таким образом, исходя из всего вышеизложенного, можно сделать вывод, что герпес-вирусная инфекция представляет собой актуальную проблему в работе врача акушера-гинеколога. На фоне инфицирования HSV повышается частота развития различных осложнений течения периода гестации и родов, а также формирования пороков развития плода. Необходимо проводить своевременную диагностику и лечение данной группы пациенток не только во время беременности, но и на этапе планирования путем прегравидарной подготовки, что позволит улучшить прогноз для матери и ребенка.

### Список литературы

1. Гинекология: национальное руководство. Под ред. Савельевой Г.М., Сухих Г.Т., Серова В.Н., Радзинского В.Е., Манухина И.Б. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 1008 с.
2. Baker D.A. Consequences of herpes simplex virus in pregnancy and their prevention. *Current Opinion in Infectious Diseases*. 2007. № 20. P. 73–76.
3. Сиразитдинова В.Ф., Дмитриев Г.А., Маннанов А.М. Герпес-вирусная инфекция у детей // *Клиническая дерматология и венерология*. 2012. № 6. С. 10–15.
4. Patton M.E., Bernstein K., Liu G., Zaidi A., Markowitz L.E. Seroprevalence of Herpes Simplex Virus Types 1 and 2 Among Pregnant Women and Sexually Active, Nonpregnant Women in the United States. *Clinical Infectious Diseases*. 2018. Vol. 67. № 10. P. 1535.
5. Paz-Bailey G., Ramaswamy M., Hawkes S.J., Geretti A.M. Herpes simplex virus type 2: epidemiology and management options in developing countries. *Sexually Transmitted Infections*. 2007. Vol. 83. P. 16–22.
6. Генитальный герпес. Клинические рекомендации. Российское общество дерматовенерологов и косметологов. М., 2016. 23 с.
7. Kularatne R.S., Muller E.E., Maseko D.V., Kufachakezha T., Lewis D.A. Trends in the relative prevalence of genital ulcer disease pathogens and association with HIV infection in Johannesburg, South Africa, 2007–2015. *PLoS One*. 2018. Vol. 13. № 4. P. e0194125.
8. Хрянин А.А., Решетников О.В., Кандрушина М.П. Многолетние тенденции в распространенности вируса простого герпеса в популяции Сибири // *Вестник дерматологии и венерологии*. 2010. № 5. С. 96–101.
9. Пестрикова Т.Ю., Юрасова Е.А., Юрасов И.В., Котельникова А.В. Основные принципы ведения пациенток с генитальным герпесом // *Гинекология*. 2019. № 1. С. 80–85.

10. Доброхотова Ю.Э., Боровкова Е.И. Герпес-вирусная инфекция: эпидемиология, диагностика, терапия // Гинекология. 2017. Т. 19, № 5. С. 20–25.
11. Белова А.В., Асцатурова О.Р., Науменко Н.С., Никонов А.П. Генитальный герпес и беременность // Архив акушерства и гинекологии им. В.Ф. Снегирева. 2017. № 3. С. 124.
12. Vauloup-Fellous C. Genital herpes and pregnancy: serological and molecular diagnostic tools. Guidelines for clinical practice from the French College of Gynecologists and Obstetricians (CNGOF). *Gynaecology Obstetrics Fertility & Senology*. 2017. Vol. 45. P. 655–663.
13. Fa F., Laup L., Mandelbrot L., Sibuide J., Picone O. Fetal and neonatal abnormalities due to congenital herpes simplex virus infection: a literature review. *Prenatal Diagnosis*. 2019. Vol. 40. № 4. P. 408–414.
14. Magawa S., Tanaka H., Furuhashi F., Maki S., Nii M., Toriyabe K., Ikeda T. A literature review of herpes simplex virus hepatitis in pregnancy. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*. 2018. Vol. 33. № 10. P. 1774–1779.
15. Sauerbrei A. Herpes genitalis: diagnosis, treatment and prevention. *Geburtshilfe Frauenheilkd.* 2016. Vol. 76, № 12. P. 1310–1317.
16. Wagenlehner F.M., Brockmeyer N.H., Discher T., Friese K., Wichelhaus T.A. The presentation, diagnosis and treatment of sexually transmitted infections. *Deutsches Ärzteblatt International*. 2016. Vol. 113. P. 11–23.
17. Пестрикова Т.Ю., Юрасова Е.А., Юрасов И.В., Котельникова А.В. Современные аспекты тактики при генитальной герпес-вирусной инфекции: обзор литературы // Гинекология. 2018. 20 № 2. С. 67–73.
18. Дворянкова Е.В., Сакания Л.Р., Бабаев О.Р., Шахзадов В.В., Корсунская И.М. Особенности генитального герпеса у женщин // Гинекология. 2018. № 4. С. 55–59.
19. McCormack A.L., Rabie N., Whittemore B., Murphy T., Sittler C., Magann E. HSV Hepatitis in Pregnancy. *Obstetrical & Gynecological Survey*. 2019. Vol. 74. № 2. P. 93–98.
20. Faure-Bardon V., Magny J.F., Parodi M., Couderc S., Garcia P., Maillotte A.-M., Benard M., Piquier D., Astruc D., Patural H., Pladys P., Parat S., Guillois B., Garenne A., Busières L., Guilleminot T., Stirnemann J., Ghout I., Ville Y., Lereuz-Ville V. Sequelae of congenital cytomegalovirus (cCMV) following maternal primary infection are limited to those acquired in the first trimester of pregnancy. *Clinical Infectious Diseases*. 2019. Vol. 69. № 9. P. 1526–1532.
21. Kieffer F., Wallon M. Congenital toxoplasmosis. *Handbook of Clinical Neurology*. 2013. Vol. 112. P. 1099–1101.
22. Пестрикова Т.Ю., Юрасова Е.А., Ковалева Т.Д., Воронова Ю.В., Котельникова А.В. Оценка клинической эффективности противовирусной терапии при рецидивирующем генитальном герпесе // Акушерство и гинекология. 2017. № 9. С. 127–131.
23. Орлов Е.В., Котельникова Е.В., Васильев-Ступальский Е.А., Мударисов Р.М., Певзнер Н.Ю. Генитальный герпес: эффективность противовирусной терапии // Клиническая дерматология и венерология. 2015. № 3. С. 40–45.
24. Петров Ю.А. Здоровье семьи – здоровье нации. 2-е изд., перераб. и доп. М.: «Медицинская книга», 2020. 320 с.
25. Петров Ю.А., Березовская К.Е., Купина А.Д. Принципы соблюдения прегравидарной подготовки как метода перспективной медицины // Журнал научных статей «Здоровье и образование в XXI веке». 2019. Т. 21. № 5. С. 17–22.
26. Коробкова Е.А., Карпушин Д.И. Прегравидарная подготовка женщин с герпесвирусной инфекцией // Акушерство и гинекология. 2020. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://lib.medvestnik.ru/articles/PREGRAVIDARNAYA-PODGOTOVKA-JENSHIN-S-GERPEVIRUSNOI-INFYEKTSIEI.html> (дата обращения: 12.06.2020).

## СТАТЬИ

УДК 66.061.3:634.7

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕКОТОРЫХ ЛЕСНЫХ ЯГОД И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В ПРОИЗВОДСТВЕ НАПИТКОВ****Гадимова Н.С.***Азербайджанский государственный аграрный университет, Азербайджан,  
e-mail: natavan.gadimova@mail.ru*

Обеспечение населения полезными, качественными и экологически чистыми продуктами питания в настоящее время сохраняет свою актуальность. В связи с этим проведено исследование по экстрагированию выжимок плодов местных дикорастущих растений с лечебными свойствами и представлены его результаты, а также было определено направление использования полученных экстрактов в производстве безалкогольных и функциональных напитков. Для эксперимента взяты лесные ягоды барбариса, кизила и ежевики. Проведены анализы качественных показателей состава фенольных соединений в исследуемых плодах, их выжимках, а также в полученных экстрактах. Качественный состав фенольных веществ в выжимках ежевики аналогичен таковому в плодах. Определены и идентифицированы оксикоричные кислоты и их производные: п-кумароилгексоза, ферулоилгексоза и производные последнего (рутин, кверцетин гексозида малонат, кверцетин; флаван-3-олы: (+)-Д катехин, (-)-эпикатехин). В полученных экстрактах идентифицированы все гликозиды антоцианов, которые были определены в плодах и выжимках. Антоцианы представлены гликозидами пяти агликонов: мальвидина, прианидина, петунидина, дельфинидина и цианидина – с тремя углеводами: глюкозой, галактозой и арабинозой. Наибольшую долю в экстрактах составляют гликозиды цианидина, гликозиды дельфинидина. Результаты экспериментов свидетельствуют о высоком содержании в экстрактах красящих и фенольных соединений. Это позволяет оценить сырье с позиции содержания биологически активных веществ и целесообразности их применения в производстве напитков.

**Ключевые слова:** барбарис, кизил, ежевика, выжимки, экстрагирование, фенольные соединения, функциональные напитки

**RESEARCH OF QUALITATIVE INDICATORS OF SOME FOREST BERRIES AND THEIR APPLICATION IN PRODUCTION OF DRINKS****Gadimova N.S.***Azerbaijan State Agrarian University, Azerbaijan, e-mail: natavan.gadimova@mail.ru*

Providing the population with useful, high-quality and environmentally friendly food products currently remains relevant. In this regard, the results of a study on the extraction of squeezed fruits of local wild plants with medicinal properties are presented, and the direction of using the obtained extracts in the production of soft and functional drinks was obtained. Forest berries of barberry, cornel and blackberry were taken for the experiment. The analysis of qualitative indicators of the composition of phenolic compounds in the studied fruits, their squeezes, as well as in the extracts obtained. The qualitative composition of phenolic substances in squeezed blackberries is similar to that in fruits. Oxycinnamic acids and their derivatives have been identified and identified: p-coumaroylhexose, feruloylhexose and derivatives of the latter (rutin, quercetin hexoside malonate, quercetin; flavan-3-ol: (+) – D catechin, (-) – epicatechin). In the obtained extracts, all anthocyanin glycosides were identified, which were determined in fruits and squeezes. Anthocyanins are represented by glycosides of five aglycones: malvidin, prianidin, petunidin, dolphinidin and cyanidin with three carbohydrates – glucose, galactose and arabinose. The largest share in the extracts is made up of cyanidin glycosides, dolphinidin glycosides. The experimental results indicate a high content of coloring and phenolic compounds in the extracts. This allows you to evaluate the raw materials from the position of the content of biologically active substances and the appropriateness of their use in the production of beverages.

**Keywords:** barberry, dogwood, blackberry, pomace, extraction, phenolic compounds, functional drinks

Современная наука о питании доказывает необходимость участия в физиологических процессах организма витаминов, аминокислот, минеральных веществ, пищевых волокон, а также других биологически активных компонентов. Обеспечение населения качественными продуктами сохраняет свою актуальность и в настоящее время. Стремление к благополучию людей, а также обеспечению их безопасными, качественными продуктами питания предполагает стабильную работу предприятий, в том числе предприятий перерабатывающей промышленности. С этой целью основные

направления в пищевой промышленности отводятся обогащению продуктов питания, которые играют немаловажную роль в обеспечении здоровья населения [1, 2].

Одним из таких продуктов являются безалкогольные напитки. В этом плане предпочтение отдается натуральным напиткам, которые служат носителями полезных веществ. Действие биологически активных компонентов на организм человека обусловлено присущими им укрепляющими свойствами [3, 4].

Напитки, особенно безалкогольные, употребляются населением всех слоев и всех

возрастных групп. Для обогащения напитков полезными веществами целесообразно использовать растительное сырье местного региона, которое обладает рядом положительных свойств с медицинской точки зрения. Применение местного дикорастущего сырья в основном способствует рациональному использованию природно-сырьевых источников, а также удовлетворяет требования населения в разнообразных и качественных напитках для общего и специального назначения. В этом отношении перспективным сырьем для получения вышеуказанной продукции могут быть ягоды дикорастущих лечебных растений Азербайджана. Они богаты витаминами и витаминоподобными соединениями, минеральными веществами, флавоноидами и т.д. [5, 6].

Изучению биологически активных компонентов дикорастущих ягодных растений в настоящее время уделяется большое внимание. Дикорастущие растения хорошо приспособлены к условиям окружающей среды, проявляют иммунитет ко многим заболеваниям, их пищевая ценность и содержание многих биологически активных веществ превосходят таковые у культурных сортов. Они дают наиболее стабильный урожай, экологически чисты, так как не обрабатываются химическими препаратами.

В народной медицине широко применяются плоды таких дикорастущих растений, как облепиха, сумах, барбарис, кизил, мушмула, ежевика и др. При регулярном употреблении этих лесных ягод организм человека вырабатывает иммунитет к различным заболеваниям.

Анализируя литературные данные, можно сделать вывод, что сведения о составе биологически активных компонентов в указанных ягодах, растущих на территории Республики, весьма ограничены. Нужно отметить, что в плодах и ягодах вышеуказанных растений накопление биологически активных компонентов зависит от климатических условий региона.

Необходимо отметить, что дикорастущие плоды и ягоды являются скоропортящимися продуктами, поэтому требуется изыскать новые методы переработки плодов и ягод, чтобы максимально сохранить в них исходные компоненты.

Целями исследования являлись изучение и сравнительный анализ химического состава ягод и выжимок барбариса, кизила и ежевики, а также оценка перспективности применения их в качестве сырьевых источников при производстве безалкогольных и функциональных напитков.

Проведен анализ химического состава, содержания красящих веществ и феноль-

ных соединений в плодах барбариса, кизила, ежевики и их выжимок, исследован процесс экстракции выжимок барбариса, кизила и ежевики, а также изучен состав биологически активных веществ (БАВ) ягодных экстрактов, проведена оценка полученных полуфабрикатов, выявлены перспективы применения экстрактов из выжимок в разработке рецептур безалкогольных и функциональных напитков.

### Материалы и методы исследования

Объектами исследований являются ягоды и выжимки барбариса, кизила и ежевики, их водно-спиртовые экстракты. Барбарис распространен в большинстве районов Азербайджана – от низменностей до горных поясов. Он полезен для сердца, печени, а также снижает артериальное давление, улучшает пищеварение. В его плодах содержатся сахар, органические кислоты, каротиноиды, пектиновые вещества [7], встречаются такие кислоты, как лимонная, яблочная, кофейная, хинная, оксикоричная, хлорогеновая, количество которых составляет 3,99%. Органические кислоты плодов барбариса обладают бактерицидным действием, стимулируют перистальтику кишечника, возбуждают секрецию поджелудочной железы. Углеводы плодов барбариса – это в основном глюкоза, фруктоза и сахароза, которые хорошо усваиваются организмом человека. Выжимка и кожица содержат 0,4–0,5% берберина, 1,5% дубильных веществ, 1,2% смолы, 38,6 мг% витамина С. Витамин С в присутствии флавоноидов проявляет наибольшую активность. Ягоды барбариса богаты биофлавоноидами.

Кизил распространен в диком виде в лесах подножья Большого и Малого Кавказа в Шекинском, Закатальском, Кусарском районах, а также в близлежащих районах рек Куры и Аракса. В Азербайджане растет кизил европейский. Кизил – древнее плодовое растение, которое является ценным сырьем в пищевой промышленности. Он устойчив к воздействию вредителей, а также к болезням. Продукты, полученные на основе плодов кизила (соки, варенья, компоты и т.д.), полезны при малокровии, желудочных заболеваниях, при болезнях печени и т.д. В плодах кизила содержится 20–25% сахара (глюкоза, фруктоза, сахароза), 10–11% органических кислот (лимонная, яблочная, янтарная и др.), 8% дубильных веществ, витамин С, витаминные группы В, красящие и пектиновые вещества. Ягоды кизила благотворно влияют на сердечно-сосудистую систему.

Кусты дикорастущей ежевики встречаются во всех зонах Азербайджана. Ягоды

ежевике обладают общеукрепляющими, тонизирующими свойствами. В плодах этого растения содержание сахара – 7–10%, органических кислот – 1–1,5%, пектиновых веществ – 1,8%, а также встречаются каротин, витамин С и витамины группы В. Минеральный состав ежевики включает (мг/100 г): кальция – 30, меди – незначительно, железа – 1, магния – незначительно, марганца – 2, фосфора – 30, калия – 17,5, селена – 1, натрия – 2, цинка – 0,4.

В экспериментах использовали стандартные физико-химические методы, а фенольные соединения определяли на жидкостном хроматографе.

### Результаты исследования и их обсуждение

При производстве соков из плодов и ягод указанных дикорастущих растений в большом количестве остаются выжимки, которые также содержат много пектиновых, минеральных, фенольных, красящих веществ и органических кислот. Они представляют собой уплотненную массу из кожицы, семян и остатков мякоти интенсивно-оранжевого, темно-красного и черного с фиолетовым оттенком цвета.

Определены качественные показатели исходного сырья: в целостном состоянии и в виде выжимок. Характеристики исследуемых показателей приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что содержание сухих веществ в выжимках барбариса, кизила и ежевики примерно одинаково и колеблется в пределах 30,6–31,17%. В плодах кизила сухих веществ намного больше по сравнению с плодами барбариса и ежевики: в плодах барбариса и ежевики соответственно 12,11% и 12,52%, а в плодах кизила – 19,36%. Титруемой кислотности и аскорбиновой кислоты в выжимках меньше, чем в самих плодах. Содержание аскорбиновой кислоты в плодах и выжимках

кизила намного больше, чем в барбарисе и ежевике. Если в выжимках кизила аскорбиновая кислота составляет 27,12 мг/100 г, то в барбарисе и ежевике соответственно 16,21 и 3,69 мг/100 г. Однако плоды и выжимки этих ягод отличаются высоким содержанием антоцианов. Наибольшее количество антоцианов отмечается в плодах и выжимках кизила. Как видно из табл. 1, оно составляет 690,26 мг/100 г для плодов и 821,13 мг/100 г для выжимок кизила. Для плодов и выжимок ежевики соответственно 512,27 мг/100 г и 595,48 мг/100 г, а для барбариса 404,71 мг/100 г и 451,47 мг/100 г. Антоцианы – мощные антиоксиданты, которые обладают большей эффективностью, чем витамин С. Поступая в организм, антоцианы предупреждают внутреннее кровоизлияние, поддерживают кровяное давление, образуют комплексы с радиоактивными элементами и выводят их из организма. Они также обладают противовоспалительными, антимикробными, гепатопротекторными свойствами.

Данные содержания фенольных соединений и их состав приведены в таб. 2. Фенольные соединения обладают антисептическими, спазмолитическими, антиоксидантными, кардиотоническими и иными свойствами. Это дает основание сделать вывод, что они являются важными элементами рациона человека.

Качественный состав фенольных веществ в выжимках ежевики аналогичен таковому в плодах. Определены и идентифицированы оксикоричные кислоты и их производные: п-кумароилгексоза, ферулоилгексоза и производные последнего (рутин, кверцетин, гексозид малонат, кверцетин; флаван-3-олы: (+)-Д катехин, (-)-эпикатехин). Выявлено, что содержание оксикоричной кислоты и ее производных намного больше (примерно в 12 раз) в плодах и выжимках кизила по сравнению с плодами и выжимкой ежевики.

Таблица 1

Сравнительная характеристика химического состава исследуемых ягод и их выжимок

№ п/п	Наименование показателей	Барбарис		Кизил		Ежевика	
		Плод	Выжимка	Плод	Выжимка	Плод	Выжимка
1	Сухие вещества, %	12,11	31,17	19,36	30,18	12,52	30,6
2	Титруемая кислотность, %	0,61	0,42	0,99	0,58	0,98	0,65
3	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	27,88	16,21	42,95	27,12	25,18	3,69
4	Антоцианы, мг/100 г	404,71	451,47	690,26	821,13	512,27	595,48

Таблица 2

Состав и содержание фенольных соединений исследуемых ягод и их выжимок

№ п/п	Наименование показателей	Барбарис		Кизил		Ежевика	
		Плод	Выжимка	Плод	Выжимка	Плод	Выжимка
1	Оксикоричные кислоты и их производные, мг/100 г	–	–	181,05	180,97	25,39	14,42
2	Флавоны и их производные, мг/100 г	60,41	75,20	30,13	43,92	3,22	8,46
3	Антоцианы, мг/100 г	404,71	451,47	690,26	821,13	512,27	595,48
4	Флаван-3-олы, мг/100 г	–	–	–	–	6,35	12,61
5	Сумма фенольных соединений, мг/100 г	465,12	526,67	901,44	1046,02	547,23	630,97

Таблица 3

Экспериментальные данные водно-спиртовых экстрактов из выжимок

№ п/п	Наименование показателей	Барбарис	Кизил	Ежевика
1	Сухие вещества, %	5,5	6,2	6,7
2	Титруемая кислотность, %	0,56	0,62	0,58
3	Витамин С, мг/дм <sup>3</sup>	89,71	142,6	108,2
4	Красящие вещества, мг/дм <sup>3</sup>	4200,7	6390,3	4666,1
5	Фенольные соединения, мг/дм <sup>3</sup>	6010,8	1314,3	5320,7

Антоцианы представлены гликозидами пяти агликонов: мальвидина, прианидина, цианидина, дельфинидина и петунидина с тремя углеводами – глюкозой, арабинозой и галактозой. Массовая доля (мг/100 г) антоцианов ежевики соответственно для плодов и выжимок составляет: гликозиды дельфинидина – 160 и 120, гликозиды цианидина – 155 и 100, гликозиды петунидина – 62 и 60, гликозиды мальвидина – 50 и 45, гликозиды пеонидина – 42 и 38. Такое же соотношение наблюдается и в других исследуемых объектах. Таким образом, высокое содержание антоцианов в выжимках исследуемых дикорастущих растений свидетельствует об их биологической активности и целесообразности использования в производстве безалкогольных и функциональных напитков.

Из выжимок исследуемых плодов выделяли фенольные соединения водно-спиртовым экстрагированием (этиловый спирт 60%). При экстракции антоцианов из выжимок видно, что гликозиды мальвидина и пеонидина экстрагируются лучше всего, при этом степень извлечения для гликозидов мальвидина составляет 51,8–65,2%, а для гликозидов пеонидина, цианидина и дельфинидина соответственно – 47,3–60,1%; 36,3–49,9%; 31,3–41,2% от их содержания в выжимках.

Экспериментально установлены показатели качества водно-спиртовых экс-

трактов из выжимок барбариса, кизила и ежевики (табл. 3).

По полученным данным видно, что экстракты характеризуются высокой концентрацией красящих и фенольных соединений. В экстрактах барбариса красящие вещества составляют 4200,7 мг/дм<sup>3</sup>, а фенольные соединения – 6010,8 мг/дм<sup>3</sup>, в экстрактах кизила соответственно – 6390,3 мг/дм<sup>3</sup> и 1314,3 мг/дм<sup>3</sup>, а в экстрактах из выжимок ежевики содержание красящих веществ – 4666,1 мг/дм<sup>3</sup>, фенольных соединений – 5320,7 мг/дм<sup>3</sup>. Результаты исследований показали, что экстракты из выжимок можно применять как биологически активные вещества при производстве безалкогольных напитков.

### Заключение

Результаты исследований дают основание сделать вывод о целесообразности использования плодов и выжимок экстракта барбариса, кизила и ежевики в качестве дополнительных источников биологически активных веществ при производстве напитков, предназначенных для питания населения и обогащения его рациона.

Экстракты, полученные при экстрагировании выжимок ягод дикорастущих лечебных растений барбариса, кизила и ежевики, отличаются высокой концентрацией красящих и фенольных соединений, которые

могут быть использованы для обогащения безалкогольных и функциональных напитков биологически активными веществами.

### Список литературы

1. Капустина А.А., Христюк В.Т. Изучение химического состава соков из плодов шелковицы черной, вишни, ореха грецкого и купажей из них с целью создания напитков повышенной биологической ценности // Научные аспекты современных исследований: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2015. С. 43–45.

2. Джафаров Ф.Н., Фаталиев Х.К. Технология функциональных пищевых продуктов (на азербайджанском языке). Баку, 2014. 381 с.

3. Дедкова Е.В., Маньшин А.А., Шошина Е.Г. Особенности приготовления холодных безалкогольных напитков

из свежих плодов и ягод // Таврический научный обозреватель. 2017. № 3 (20). С. 64–66.

4. Пушмина В.В., Пушмина И.Н., Первышина Г.Г., Захарова Л.М. Обоснование выбора растительного сырья и форма его переработки для обогащения пищевых продуктов // Известия ДВФУ. Экономика и управление. Красноярск. 2017. № 3. С. 137–149.

5. Мусаев Ф.А., Захарова О.А. Биологически активные добавки: применение, безопасность, оценка качества: учебное пособие. Рязань: Изд-во РГГУ, 2015. 201 с.

6. Еремина О.Ф. Тенденции развития индустрии безалкогольных напитков // Экономика и эффективность организации производства. 2009. № 11. С. 164–166.

7. Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. *Berberis vulgaris* L. Барбарис обыкновенный // Иллюстрированный определитель растений Средней России. М.: Т-во науч. изд. КМК. Ин-т технолог. иссл, 2003. Т. 2. 235 с.

УДК 697.7(575.2)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОБОГРЕВА И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ КЫРГЫЗСТАНА****Шатманов О.Т., Исманов Ю.Х., Айдаралиев Ж.К., Исакова Ж.А.***Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры  
им. Н. Исанова, Бишкек, e-mail: i\_yusupjan@mail.ru*

Использование только тепловых насосов для удовлетворения потребностей в отоплении может быть неэффективным, особенно при низких температурах окружающей среды. Однако тепловой насос, используемый в сочетании с обычными типами отопления, может обеспечить надежное и экономичное отопление зимой и охлаждение летом. При наличии обычных систем отопления установка теплового насоса может быть эффективным способом снижения энергетических затрат. Важность использования тепловых насосов в удаленных населенных пунктах, наземный доступ к которым в течение года может быть ограничен или даже невозможен, несомненна. Подвод газо- и теплокоммуникаций к таким поселкам практически неисполним, значительно осложнена возможность подвоза топлива наземным транспортом. В условиях Кыргызстана это особенно актуально из-за особенностей природно-географических условий: почти 89% территории Кыргызстана занимают горы. Многие небольшие населенные пункты расположены в труднодоступных районах. В этих условиях использование тепловых насосов является современным и практически безальтернативным экологически чистым методом обеспечения населенных пунктов теплом и горячей водой. Использование только тепловых насосов для обогрева помещений и горячего водоснабжения недостаточно для районов с низкими зимними температурами, характерными для высокогорья Кыргызстана. Однако использование тепловых насосов в совокупности с обычными методами обогрева и горячего водоснабжения позволяет существенно снизить затраты топлива, что очень важно в условиях высокогорья Кыргызстана.

**Ключевые слова:** тепловой насос, грунтовые системы, обогрев и горячее водоснабжение, энергетические затраты, высокогорье

**USE OF HEAT PUMPS FOR HEATING AND HOT WATER SUPPLY  
IN THE CONDITIONS OF THE HIGHLANDS OF KYRGYZSTAN****Shatmanov O.T., Ismanov Yu.Kh., Aydaraliev Zh.K., Isakova Zh.A.***Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov,  
Bishkek, e-mail: i\_yusupjan@mail.ru*

Using only heat pumps to meet heating needs can be inefficient, especially at low ambient temperatures. However, a heat pump used in combination with conventional types of heating can provide reliable and economical heating in winter and cooling in summer. With conventional heating systems, installing a heat pump can be an effective way to reduce energy costs. The importance of using heat pumps in remote settlements, ground access to which during the year may be limited or even completely absent, is undeniable. The supply of gas and heat communications to such villages is practically impossible, the possibility of delivering fuel by land transport is significantly complicated. In Kyrgyzstan, this is especially true because of the peculiarities of natural and geographical conditions: almost 89% of the territory of Kyrgyzstan is occupied by mountains. Many small towns are located in remote areas. Under these conditions, the use of heat pumps is a modern and almost non-alternative environmentally friendly method of providing settlements with heat and hot water. Using only heat pumps for space heating and hot water supply is not enough for areas with low winter temperatures characteristic of the highlands of Kyrgyzstan. However, the use of heat pumps in combination with conventional methods of heating and hot water supply can significantly reduce fuel costs, which is very important in the conditions of the highlands of Kyrgyzstan.

**Keywords:** heat pump, soil systems, heating and hot water supply, energy costs, highlands

Экономический фактор играет важнейшую роль при рассмотрении возможности использования тепловых насосов для отопления и горячего водоснабжения. И этот фактор показывает, что наиболее эффективен с точки зрения экономики подход, при котором используется комбинированный метод отопления и горячего водоснабжения: тепловой насос и известные методы нагрева – газовая или электрическая печь [1–3]. При наличии обычных систем отопления установка теплового насоса может быть эффективным способом снижения энергетических затрат [4–6].

Основными типами тепловых насосов для отопления помещений и нагрева воды являются следующие насосы:

Грунтовой тепловой насос (тепловой насос «земля – вода») отбирает тепло у земли с помощью системы трубопроводов, уложенных в землю на некоторой глубине [7, 8].

Тепловой насос воздушного типа отбирает тепло у воздуха, подогревает его же и затем доставляет в обогреваемое помещение. Воздушные насосы легко устанавливать, но их производительность сильно зависит от температуры окружающей среды. В холодную погоду их производительность

резко падает. В этом их большой минус перед грунтовыми насосами [9].

Тепловой насос, использующий воду в качестве теплоносителя (тепловой насос «вода – вода»), отбирает тепло от грунтовых вод. Тепло, как и в предыдущих случаях, идет на отопление помещений и нагрев воды. Такие насосы высокоэффективны, однако для них требуется наличие водоемов недалеко, что сильно ограничивает их использование [10].

Наивысшей производительностью, которая не зависит ни от температурных условий, ни от географического расположения, обладают грунтовые тепловые насосы (тепловой насос «земля – вода»). Это связано с тем, что температура слоев земли уже в нескольких метрах от поверхности практически неизменна, не зависит от температуры окружающей среды, что является важнейшим фактором для высокогорья Кыргызстана с его резко меняющимися температурными условиями [11–13].

Целью работы является обоснование использования грунтовых систем как дополнительных источников энергии для обогрева и горячего водоснабжения в условиях высокогорья Кыргызстана.

*Грунтовые тепловые насосы.  
Обоснованность их использования  
в условиях высокогорья Кыргызстана*

Грунтовой тепловой насос использует землю, или грунтовые воды, или и то и другое как источники тепла зимой, а также как «теплоотвод» для отвода тепла из дома летом. Тепло отводится от земли с помощью жидкости, такой как грунтовая вода или раствор антифриза. Температура жидкости повышается тепловым насосом, и тепло передается воздуху в помещении. В летние месяцы этот процесс меняется на противоположный: тепло отбирается из воздуха в помещении и передается под землю грунтовыми водами или раствором антифриза. Геотермальная система прямого расширения использует хладагент в теплообменнике, расположенном в грунте, вместо раствора антифриза.

Грунтовые системы могут использоваться с системами принудительного воздушного и гидравлического отопления. Возможный поход при проектировании грунтовых тепловых насосов – это разработка систем, предназначенных только для отопления. В таких системах, в отличие от систем, используемых и для горячего водоснабжения, естественное охлаждение теплоносителя при прохождении по системе невозможно. В таких системах, по сути, тепловой насос не используется и охлаждение происходит

за счет простой потери тепла при прохождении через систему, т.е. естественной потери тепла.

Важная и, по сути, основная особенность грунтовых насосов заключается в том, что практически вся ее система находится либо в помещении, либо на достаточной глубине в грунте. Эта важная особенность грунтовых тепловых насосов, позволяющая их использовать при низких температурах, что очень важно в условиях высокогорья Кыргызстана. Эта особенность делает эти системы практически независимыми от внешних климатических факторов.

Возможны несколько вариантов укладки совокупности подземных трубопроводов, которая зависит от наличия или отсутствия подземных грунтовых вод вблизи отапливаемого помещения. В присутствии грунтовых вод трубы укладываются таким образом, чтобы открытая часть трубопроводов погружалась непосредственно в подземный водоем или состыковывалась с пробитой в земле скважиной. В этом случае вода из подземных источников служит теплоносителем, который проходит через систему отопления и после охлаждения, выбрасывается либо в специальный водоем, пруд и т.д., либо возвращается обратно к грунтовым водам. При отсутствии грунтовых вод подземные трубопроводы образуют замкнутую систему. Теплоноситель, протекающий по подземной системе трубопроводов, отбирает тепло непосредственно от грунта. Отобранное от подземного грунта тепло и используется для обогрева или горячего водоснабжения помещения.

В качестве теплоносителя в любых системах обогрева и горячего водоснабжения используется вода, как самый дешевый и распространенный теплоноситель. Использование антифриза было бы более эффективным, однако здесь основной помехой является экономический фактор. Поэтому использование антифриза в проектах, используемых в горных районах Кыргызстана, не предусмотрено. Так как вода в качестве теплоносителя отдает тепло хуже, чем антифриз, что естественно из-за высокой теплоемкости воды, то охлаждение воды естественным образом при прохождении через теплообменники системы слабее, чем при использовании антифриза. Поэтому необходимо предусмотреть более эффективную систему теплообмена, теплообменники, имеющие большую поверхность контакта с внешней средой. При расчетах систем обогрева и теплоснабжения необходимо учитывать экономический фактор, на который сильно давит стоимость отличного от воды теплоносителя.

Системы отбора тепла от теплоносителя в различных грунтовых системах теплообогрева и горячего водоснабжения отличаются. Наиболее распространенным и относительно дешевым является способ, при котором тепло отбирается у теплоносителя сразу после выхода его из компрессора. В общем, тепла, отбираемого от подземных слоев грунта, вполне достаточно для обогрева больших помещений, таких как сельские школы. Причем этого тепла иногда даже в избытке. Особенно это проявляется в летнее время. Избыток тепла можно конденсировать в виде нагретой воды, которая может быть использована для различных нужд, например для организации парников. Причем можно настроить систему таким образом, что она по необходимости может либо полностью переключаться либо на обогрев, либо на горячее водоснабжение.

Подогрев воды осуществлять легче в геотермальных системах, потому что компрессор находится в помещении. Поскольку грунтовые системы имеют относительно постоянную тепловую производительность, они обычно имеют значительно больший запас тепловой мощности, чем требуется для обогрева помещения.

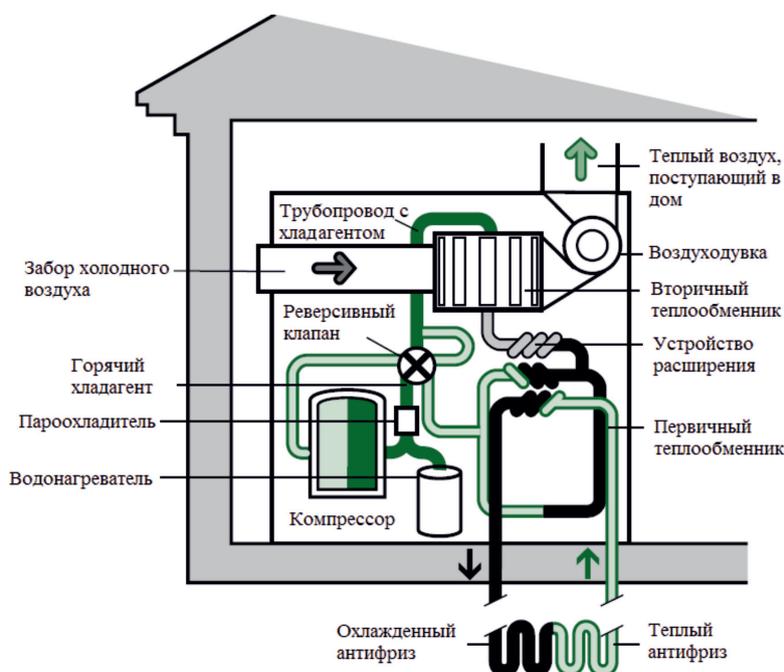
При использовании системы на основе грунтового теплового насоса вся схема как бы обращается. Тепло не поступает в среду помещения, а, наоборот, теплоноситель, проходя по трубам через помещение, забирает тепло из воздуха внутри помещения.

Отобранное тепло, в зависимости от схемы подземной системы трубопроводов, отдается либо в пруд, колодец и др., либо поступает непосредственно в грунтовые воды. Полученное тепло может быть использовано для нагрева воды.

И еще один важный момент: так как в грунтовой системе практически все оборудование находится внутри помещения, а трубопроводы находятся на достаточной глубине под землей, то снимается проблема возможного замерзания теплоносителя в зимний период. Это очень важно в условиях высокогорья.

Как показано на рисунке, грунтовые системы состоят из трех основных компонентов: самого теплового насоса, жидкого теплоносителя (открытая система или замкнутый контур) и системы подачи воздуха (воздуховод).

Грунтовые системы имеют различные значения эффективности. Грунтовые системы, предназначенные для применения в грунтовых водах или в открытых системах, имеют значения КПД для нагрева в диапазоне от 3,6 до 5,2. Те из них, которые предназначены для применения в замкнутом контуре, имеют значения КПД между 3,1 и 4,9. Коэффициент полезного действия (КПД) является мерой эффективности теплового насоса. Он находится путем деления выходной энергии теплового насоса на электрическую энергию, необходимую для работы теплового насоса при определенной температуре.



Компоненты типового геотермального теплового насоса

В высокогорных районах Кыргызстана, где температура воздуха может опускаться ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ , а температура грунта зимой обычно находится в диапазоне от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $4^{\circ}\text{C}$ , грунтовые системы имеют коэффициент полезного действия от 2,5 до 3,8.

Поскольку тепловые системы, использующие подземное тепло, имеют стандартные показатели производительности, т.е. КПД, то возникла необходимость рассчитать сезонную производительность отопления, чтобы сравнить эксплуатационные расходы с расходами тепловых насосов типа вода – воздух.

Установка геотермальных систем для подземных вод в предгорных районах будет иметь сезонный коэффициент полезного действия для отопления от 7,7 (зимой) до 9,8 (летом). Наибольшая эффективность достигается при использовании геотермальных систем с замкнутым контуром. КПД для них в предгорных районах достигает 11, а в горных до 6,3 [14–15].

### Выводы

Грунтовые системы существенно снижают расходы на отопление и охлаждение. Экономия затрат на электроэнергию по сравнению с электрическим подогревом воды составляет около 65 процентов.

В среднем грунтовые системы дают экономии примерно на 40 процентов больше, чем обеспечил бы тепловой насос типа воздух – воздух. Это связано с тем, что температура под землей зимой выше, чем температура воздуха. В результате грунтовые системы могут обеспечить больше тепла в течение зимы, чем воздушный тепловой насос.

Грунтовые системы также обеспечивают существенную экономию расходов на горячую воду, так как излишки полученного тепла можно отправить на горячее водоснабжение. Можно отрегулировать систему таким образом, что она будет полностью работать на цели отопления или горячего водоснабжения в зависимости от потребностей. Это особенно важно в летний период, когда требования по обогреву помещений, даже в горных условиях, резко падают. Эти возможности могут снизить расходы на разогрев воды на 25–50%, в зависимости от климатических условий.

Все вышесказанное показывает, насколько важно использование тепловых насосов в удаленных населенных пунктах, наземный доступ к которым в течение года может быть ограничен или даже невозможен. Подвод газо- и теплокоммуникаций к таким поселкам практически неисполним, значительно осложнена возможность подвоза топлива наземным транспортом.

В условиях Кыргызстана это особенно актуально из-за особенностей природно-географических условий: почти 89% территории Кыргызстана занимают горы. Многие небольшие населенные пункты расположены в труднодоступных районах. В этих условиях использование тепловых насосов является современным и практически безальтернативным экологически чистым методом обеспечения населенных пунктов теплом и горячей водой. Использование только тепловых насосов для обогрева помещений и горячего водоснабжения недостаточно для районов с низкими зимними температурами, характерными для высокогорья Кыргызстана. Однако использование тепловых насосов в совокупности с обычными методами обогрева и горячего водоснабжения позволяет существенно снизить затраты топлива, что очень важно в условиях высокогорья Кыргызстана.

### Список литературы

1. Berner J. Wärmepumpe und solar – solarenergie den vortritt lassen. Sonne Wind & Wärme. 2011. Vol. 35. No. 8. P. 182–186.
2. Ruschenburg J., Herkel S. and Henning H.-M. A statistical analysis on market-available solar thermal heat pump systems. Solar Energy. 2013. No. 95. P. 79–89.
3. Trojek S. and Augsten E. Solartechnik und Wärmepumpe – sie finden zusammen. Sonne Wind & Wärme. 2009. Vol. 33. No. 6. P. 62–71.
4. Meggers F., Ritter V., Goffin P., Baetschmann, M., and Leibundgut, H. Low energy building systems implementation. Energy. 2012. No. 41. P. 48–55.
5. Kim D.H., Park H.S., Kim M.S. The effect of the refrigerant charge amount on single and cascade heat pump systems. International Journal of Refrigeration. 2014. Vol. 40. P. 254–268.
6. Adhikari R.S., Aste N., Manfren M., Marini D. Energy savings through variable speed compressor heat pump systems. Energy Procedia. 2012. Vol. 14. P. 1337–1342.
7. Kavanaugh S.P. and Rafferty K. Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings. Atlanta: ASHRAE, 2007. 171 p.
8. Jung H.W., Kang H., Chung H., Ahn J.H., Kim Y. Performance optimization of a cascade multifunctional heat pump in various operation modes. International Journal of Refrigeration. 2014. Vol. 42. P. 57–68.
9. Hosoz M. Performance comparison of singlestage and cascade refrigeration systems using R134a as the working fluid, Turkish Journal of Engineering and Environmental Science. 2005. Vol. 29. P. 285–296.
10. Kim D.H., Park H.S., Kim M.S. Optimal temperature between high and low stage cycles for R134a/R410A cascade heat pump based water heater system. Experimental Thermal and Fluid Science. 2013. Vol. 47. P. 172–179.
11. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесцелевой радужной голографии // Вестник КГУСТА. 2015. № 4 (40). С. 194–198.
12. Исманов Ю.Х. Голографическая интерферометрия на основе эффекта Тальбота // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. 2015. № 2. С. 20–23.
13. Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Алымкулов С.А. Использование приближения Френеля для расчета распределения светового поля, прошедшего сквозь решетку // Вестник КГУСТА. 2017. № 3 (57). С. 171–178.
14. Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Абдулаев А.А. Моделирование оптической системы, работающей при некогерентном освещении // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 3. С. 98–102.
15. Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д. Уменьшение объема вводимых данных при компьютерной обработке интерферограмм // Материалы VIII Международной конференции по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2019. С. 695–696.

## ОБЗОРЫ

УДК 691

**СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ОБЛИЦОВОЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ****Павлычева Е.А., Пикалов Е.С.***ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru*

Обеспечение энергосбережения и энергоэффективности зданий становится всё более актуальным в связи с повышением цен на энергоносители, ростом численности населения и увеличением объемов строительства. При этом главной задачей является снижение теплообмена зданий с окружающей средой для сохранения комфортных температурных условий в помещениях, что достигается за счет эффективной теплоизоляции строительных конструкций и применения энергоэффективных материалов при возведении зданий. Данная статья представляет собой обзор основных видов энергоэффективных строительных материалов, применяемых на сегодняшний день для возведения и облицовки несущих и ограждающих строительных конструкций. В обзоре приведена классификация и сравнительная характеристика данных материалов, рассматриваются особенности применения, преимущества и недостатки бетонов с легкими минеральными и органическими заполнителями, ячеистых бетонов, видов пористой керамики, многослойных композитных панелей и блоков, древесины, геополлимерных бетонов, термопрофилей, композитной арматуры, энергоэффективных стекол, фазопереходных материалов и др. Представленная в обзоре информация позволяет рассмотреть разнообразие энергоэффективных конструктивных и облицовочных материалов, оценить возможности и преимущества их применения для монолитного, монолитно-блочного и каркасного строительства малоэтажных и высотных зданий.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, легкий бетон, ячеистый бетон, арболит, поризованная керамика, сэндвич-панели, термопанели, древесина

**MODERN ENERGY-EFFICIENT STRUCTURAL AND FACING BUILDING MATERIALS****Pavlycheva E.A., Pikalov E.S.***Federal Educational Institution of Higher Education Vladimir state university of a name of Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs, Vladimir, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru*

Ensuring energy conservation and energy efficiency of buildings is becoming more and more relevant due to rising energy prices, population growth and increased construction volumes. At the same time, the main task is to reduce the heat exchange of buildings with the environment in order to maintain comfortable temperature conditions in the premises, which is achieved through effective thermal insulation of building structures and the use of energy-efficient materials in the construction of buildings. This article is an overview of the main types of energy-efficient building materials used today for the construction and facing of load-bearing and enclosing building structures. The review provides a classification and comparative characteristics of these materials, discusses the application features, advantages and disadvantages of concretes with light mineral and organic aggregates, cellular concretes, types of porous ceramics, multilayer composite panels and blocks, wood, geopolymer concretes, thermoprofiles, composite reinforcement, energy-efficient glasses, phase change materials and others. The information presented in the review allows us to consider a variety of energy-efficient structural and facing materials, evaluate the possibilities and advantages of their use for monolithic, monolithic-block and frame construction of low-rise and high-rise buildings.

**Keywords:** energy efficiency, lightweight concrete, cellular concrete, arbolite, porous ceramics, sandwich panels, thermal panels, wood

Вопросы энергосбережения и энергоэффективности во всех отраслях человеческой деятельности с каждым годом становятся всё более актуальными в связи с ростом цен на топливно-энергетические ресурсы, а также из-за необходимости решения вопросов рационального использования природных ресурсов и снижения антропогенного воздействия на окружающую среду. При этом энергосбережение заключается в рациональном использовании энергетических ресурсов, обеспечивающем снижение энергопотребления, а энергоэффективность характеризует разницу между количеством энергии, израсходованным на достижение конкретной задачи, и количеством энергии,

израсходованным в процессе достижения этой задачи. В то же время рост численности населения и увеличение объемов строительства, преимущественно жилых и общественных зданий, приводят к увеличению расходов электричества и тепловой энергии на эксплуатацию зданий. При этом часть электрической энергии и большая часть тепловой энергии расходуются на отопление, и эти расходы существенно повышаются в холодное время года, что особенно характерно для России и других стран с холодным климатом. Часть электроэнергии также тратится на кондиционирование воздуха в летний период. В связи с этим одной из основных задач обеспечения энергосбе-

режения при эксплуатации зданий является уменьшение теплообмена с окружающей средой, в первую очередь снижение тепловых потерь. Эта задача решается за счет повышения теплотехнических норм и использования энергоэффективных строительных материалов, снижающих теплопроводность строительных конструкций.

Возможны три конструктивных решения применения энергоэффективных материалов:

– теплоизоляция из энергоэффективных материалов с созданием многослойной конструкции с несущим слоем, когда слой теплоизоляции размещается внутри помещения, между двумя слоями несущих стен (так называемая колодезная кладка) или снаружи (при этом слой теплоизоляции укрывается вентилируемым фасадом, фасадной штукатуркой или слоем облицовочного материала);

– использование каркасных конструкций, в которых теплоизоляция из энергоэффективных материалов размещается в пространстве между двумя слоями облицовочного материала, закрепленного на несущем каркасе;

– использование энергоэффективных конструктивных и облицовочных материалов, которые позволяют сократить или полностью исключить дополнительную теплоизоляцию строительных конструкций.

Второй и третий варианты является более предпочтительными, так как позволяют уменьшить толщину стен здания, увеличить площадь помещения и снизить нагрузку на фундамент за счет сравнительно низкой плотности энергоэффективных материалов.

Целью данной работы является сравнительная характеристика и рассмотрение особенностей, преимуществ и недостатков основных видов энергоэффективных конструктивных и облицовочных строительных материалов. В своей работе авторы относят к конструкционным изделиям для несущих и ограждающих (наружные и внутренние не несущие стены, перегородки, перекрытия и крыши) конструкций.

#### *Бетоны на легких минеральных заполнителях*

Бетоны на легких (пористых) минеральных заполнителях являются разновидностью легких бетонов, в которых в качестве заполнителей наряду с кварцевым песком применяют высокопористые природные минералы (пемза, туф, вулканический шлак, вулканический пепел, известняк-ракушечник и др.), искусственные минеральные заполнители (керамзит и аглопорит, гранулированное пеностекло, вспученные перлит и вермикулит, шунгизит, термолит:

обожженные щебень или гранулы диатомита, трепела, опок и др.), а также такие минеральные отходы, как зола уноса, бой кирпича, топливный, доменный или электротермофосфорный шлак. Заполнители применяют в виде щебня, гравия, гранул или песка. В качестве вяжущих для получения легких бетонов применяют цемент, известь, гипс, магнезиальный цемент, а также зольные и шлаковые вяжущие. Также в составах для легких бетонов могут применяться смеси из перечисленных заполнителей и вяжущих.

Название получаемого легкого бетона зависит от его состава: в начале указывается заполнитель, а затем в зависимости от вида основного вяжущего добавляется окончание «бетон» для цемента, «силикат» для известковых вяжущих, «гипсобетон» или «гипс» для гипсовых вяжущих. Например, шлакопемзобетон получают при использовании шлаковой пемзы, представляющей собой вспученный доменный шлак (термозит, отсюда второе название материала – термозитобетон), в качестве заполнителя и цемента в качестве основного вяжущего, а золосиликат – при использовании золы в качестве заполнителя и извести в качестве вяжущего. Во многих источниках такие названия, как керамзитобетон и керамзитосиликат, считают синонимами, однако, по мнению авторов данной статьи, это разные материалы, так как между цементным и известковым бетонами есть отличия, а проведение аналогий связано с тем, что в большинстве случаев при производстве легких бетонов используют смеси из этих двух вяжущих с преобладанием одного из них, поэтому теоретически они должны называться силикатобетонами и бетоносилкатами (например, аглопоритобетоносилкат представляет собой легкий бетон с аглопоритом в качестве заполнителя и цементно-известковым вяжущим с преобладанием цемента).

Если рассматривать свойства легких бетонов в зависимости от вяжущего, то бетоны, для получения которых применялся в основном цемент, являются более прочными и водостойкими, бетоны, для получения которых применялись в основном гипсовые вяжущие, являются менее прочными и водостойкими, но у них лучше теплоизоляционные свойства и меньше плотность. Свойства легких бетонов, для получения которых применялись главным образом известковые вяжущие, занимают промежуточное положение. Также стоит учитывать, что преобладание цемента придает бетонам сероватый оттенок, а наличие известковых и гипсовых вяжущих – белый оттенок. Стоит отметить, что к энергоэффективным изде-

лиям относятся пазогребневые гипсоблоки и гипсоплиты, изготавливаемые из гипсовых или гипсоцементных вяжущих без заполнителей и с добавками для повышения влагостойкости. Такие блоки и плиты отличаются быстротой монтажа, экологичностью, легкостью, высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, огнестойкостью и привлекательным внешним видом, однако у них высокое водопоглощение, невысокие значения влагостойкости и прочности, для них обязательна штукатурка или облицовка. Применяются гипсоблоки и гипсоплиты для внутренних ограждающих конструкций, гипсоблоки могут применяться и для несущих стен в малоэтажном строительстве при эксплуатации в сухих условиях.

Рассмотрим наиболее распространенные разновидности легких бетонов в зависимости от применяемого легкого минерального заполнителя.

Керамзитобетон и керамзитосиликат, как следует из их названий, получают при использовании в качестве заполнителя керамзита, получаемого при обжиге вспучивающихся глин, глинистых сланцев и представляющего собой частицы овальной формы с гладкой поверхностью и пористой структурой. Керамзитобетон отличается высокой для легких бетонов прочностью на сжатие, низким водопоглощением, хорошими теплоизоляционными свойствами и морозостойкостью, высокими звукоизоляционными свойствами, экологической безопасностью, негорючестью и хорошей гвоздимостью. Характерным для керамзитобетона недостатком является сложность механической обработки (резки, шлифования и т.п.). Близкими к керамзитобетону по свойствам, но несколько менее распространенными являются аглопоритобетон и аглопоритосиликат, перлитобетон и перлитосиликат, вермикулитобетон.

Шлакобетон, шлакосиликат и шлакогипс получают при использовании различных шлаковых отходов в качестве заполнителя. Применение металлургических шлаков позволяет повысить прочность бетона, а использование топливных шлаков увеличивает теплоизоляционные свойства материала. Однако стоит учитывать, что в топливном шлаке могут содержаться несгоревшие частицы угля, что снижает огнестойкость шлакобетона. Шлакобетоны характеризуются относительно высокими значениями прочности на сжатие и теплопроводности. Легкость механической обработки характерна для шлакобетонов на основе топливных шлаков, а хорошая гвоздимостью – для шлакобетонов на основе металлургических шлаков. К недостаткам шлакобетонов от-

носятся низкий уровень звукоизоляции, высокое водопоглощение, длительный период естественного твердения (до одного года). Еще одним недостатком является возможность содержания в шлаках опасных веществ и наличие радиационного фона, поэтому такой заполнитель нужно предварительно обрабатывать. Применение шлакощелочных вяжущих (с добавлением тонкомолотого шлака, активированного щелочью) позволяет снизить водопоглощение и повысить прочность бетонов. Применение термозита в качестве заполнителя повышает теплоизоляционные свойства, поэтому термозитобетон является самым распространенным видом шлакобетонов.

Золобетон, золосиликат и зологипс производят с использованием золы уноса теплоэлектростанций в качестве заполнителя. Золобетон отличается хорошей прочностью на сжатие, легкостью механической обработки, высоким водопоглощением, склонностью к сорбционному увлажнению и низкой водостойкостью, а возможное наличие несгоревшего топлива снижает его огнестойкость [1]. Применение тонкомолотой золы в качестве добавки к цементному вяжущему позволяет снизить водопоглощение и повысить прочность бетона.

Разновидностью легких бетонов данной группы также является сферобетон, в котором заполнителем являются алюмосиликатные микросферы, получаемые из золы уноса [2], или стеклянные микросферы [3]. По своим свойствам сферобетон близок к керамзитобетону, но у него выше прочность, меньше водопоглощение, выше водо- и атмосферостойкость.

Общими преимуществами рассмотренных легких бетонов являются хорошее сочетание низкой плотности, прочности и теплоизоляционных свойств (выделяют конструкционные, теплоизоляционно-конструкционные и теплоизоляционные легкие бетоны, для которых с уменьшением прочности повышается энергоэффективность), химическая стойкость, долговечность при хорошей гидроизоляции, биостойкость, повышенные по сравнению с обычным бетоном значения воздухо- и паропроницаемости. К общим недостаткам относятся низкая прочность на динамические и ударные нагрузки и неэстетичный внешний вид, необходимость облицовки для теплоизоляционных и утепления для конструкционных разновидностей легких бетонов.

Особенностями производства бетонов на легких заполнителях по сравнению с обычными бетонами является шероховатость поверхности и высокое водопоглощение частиц заполнителя, особенно в случае

крупных частиц, что снижает удобоукладываемость, осложняя получение монолитного бетона, повышает водопотребность, усложняя получение цементного раствора с требуемой влажностью, и повышает водопоглощение бетонов. Для бетонов на легких заполнителях также характерна более высокая усадка, что является причиной возникновения «мостиков холода» через кладочный раствор. Для снижения водопоглощения применяют покрытие частиц заполнителя битумом и вводят в цемент гидрофобизирующие добавки. От зернового состава заполнителя и его количества в составе смеси зависят свойства и назначение легкого бетона: чем крупнее частицы заполнителя и выше его содержание, тем меньше прочность и теплопроводность, выше водопоглощение. Для повышения прочности легкие бетоны могут применяться с арматурой. При этом стальную арматуру для защиты от коррозии покрывают жирным цементным раствором, повышают толщину защитного слоя или оштукатуривают бетонную поверхность.

Свойства легкого бетона зависят также от качества перемешивания и способа твердения. При автоклавном твердении за счет воздействия температуры и давления получают изделия правильной геометрической формы, с низкой гигроскопичностью и высокой прочностью. По этому методу твердения выше производительность, но больше энергоемкость и можно выпускать изделия только в форме блоков, полублоков (продольных половин для устройства перегородок) и плит, например шлакобетонных блоков и плит (шлакоблоков и шлакоплит), шлакогипсовых блоков и плит и т.д. При твердении в естественных условиях (гидратационное твердение) процесс занимает длительное время, эксплуатационные свойства материала ниже, однако наряду с блоками и плитами возможно применение материала в монолитном строительстве. Блоки из легкого бетона изготавливают полнотелыми, пустотелыми (с технологическими пустотами), с одной или двумя (боковой и торцевой) лицевыми гранями, с рифленой, колотой, шлифованной или гладкой поверхностью.

Легкие бетоны конструкционного типа все более широко применяются в монолитно-блочном и монолитном высотном строительстве для возведения несущих и ограждающих конструкций, конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны широко используются в малоэтажном (до 3 этажей, преимущественно при строительстве одноэтажных домов) строительстве для несущих и ограждающих конструк-

ций, а также в высотном строительстве для ограждающих конструкций, теплоизоляционные легкие бетоны используются в многослойных строительных конструкциях. Конструкционные легкие бетоны также применяются в дорожном строительстве и при возведении мостовых конструкций.

#### *Бетоны на лёгких органических заполнителях*

В качестве заполнителей для данной группы легких бетонов применяют полимерные материалы в виде волокон (фибры) или гранул, а также следующие вещества и материалы растительного происхождения: древесные отходы (стружка щепы, опилки и т.д.), целлюлоза, солома, камыш, торф, костра (отходы от переработки льна и конопля), рисовая шелуха и др. Для данных легких бетонов применяются аналогичные предыдущей группе вяжущие, тот же принцип при наименовании разновидностей и деление на конструкционные, теплоизоляционно-конструкционные и теплоизоляционные разновидности.

Самым распространенным легким бетоном данной группы является арболит (древобетон или деревобетон, щепкобетон, щепобетон), в котором заполнителем является древесная щепа, преимущественно сосны и ели, реже лиственных пород, а вяжущим – цемент. Для повышения биостойкости древесной щепы, снижения водопроницаемости и повышения прочности арболита в состав смеси вводятся добавки-минерализаторы: хлорид кальция, жидкое стекло, силикат-глыба, сернокислый глинозем или известь. Для арболита характерны средние для легких бетонов плотность и прочность на сжатие, сравнительно высокая прочность на изгиб и высокий модуль упругости (высокая трещиностойкость), высокие тепло- и звукоизоляционные свойства, средняя морозостойкость, высокая гвоздимкость и легкость механической обработки. Арболит относится к трудногорючим и экологически безопасным материалам с высокими воздухо- и паропроницаемостью (выше, чем у предыдущей группы легких бетонов). Еще одной особенностью арболита является возможность производства изделий не только в виде блоков и плит, но и со сложной, в т.ч. криволинейной, конфигурацией. Недостатками арболита являются высокое водопоглощение, относительно высокая усадка, низкая по сравнению с другими легкими бетонами точность геометрии, сравнительно высокая себестоимость (из-за расхода цемента и большого количества ручного труда) и необходимость защитно-декоративной отделки (покраска,

штукатуривание или облицовка). Разновидностями арболита являются легкие бетоны со смешанными наполнителями: золоарболит и керамзитоарболит, которые сочетают преимущества и недостатки применяемых заполнителей.

Схожими с арболитом материалами являются опилкобетон и стружкобетон. По сравнению с арболитом они обладают несколько меньшими значениями прочности, морозостойкости и водостойкости, но более высокими теплоизоляционными свойствами. Для улучшения прочностных характеристик древесный наполнитель минерализуют и в состав данных материалов вводят кварцевый песок, однако при этом повышается теплопроводность [4; 5]. Кроме того, в составе данных материалов цемент нередко частично заменяют глиной или известью.

Вторым после арболита по распространенности легким бетоном данной группы является полистиролбетон (пенопластобетон), в котором наполнителем являются гранулы пенополистирола и в который в качестве добавок часто вводят пластификаторы для улучшения пластичности и снижения трещиностойкости. Это материал с низкой стоимостью, обладает отличными теплоизоляционными и звукоизоляционными характеристиками, достаточно высокой прочностью на сжатие и средней прочностью на изгиб, низким водопоглощением, средней морозостойкостью, средней усадкой, долговечностью, биостойкостью, легкостью механической обработки. Недостатками полистиролбетона являются низкая адгезия между наполнителем и связующим, низкая адгезия к штукатурке, невысокая гвоздимось, непрочность монтажа окон и дверей, низкая паропроницаемость, наполнитель снижает химическую стойкость, выгорает и выделяет токсичные продукты при пожаре.

Широко распространенными материалами данной группы являются фибробетон, фибросиликат и фиброгипс, в которых в качестве наполнителя применяются волокна (фибра) из полипропилена, полиэтилена или целлюлозы, реже применяются арамидные волокна. Эти материалы обладают средними для легких бетонов значениями прочности и теплопроводности. В случае применения целлюлозной фибры теплопроводность ниже, но повышается водопоглощение, снижаются прочность, морозостойкость и влагостойкость. Существуют фибробетоны, армированные стекловолокном, базальтовой и стальной фиброй с высокой прочностью, однако теплопроводность у этих материалов также высокая. Разновидностью фибробето-

на является фибролит, в котором вяжущим является цемент, магнезиальное (магнезиальный фибролит) или гипсовое (таумалит) вяжущие, а наполнителем является древесная шерсть – особый вид стружки спиралевидной формы с большой длиной и малой шириной. Древесную шерсть получают в основном из хвойных деревьев и специально производят с помощью строгальных станков или вручную. Как и в случае с арболитом, при производстве фибролита проводят минерализацию древесной шерсти. Фибролит обладает средней прочностью, высокими теплоизоляционными свойствами и высоким по сравнению с арболитом водопоглощением, поэтому применяется только для внутренних стен и перегородок в сухих условиях либо для утепления стен и перегородок.

Менее распространенными, но достаточно широко применяемыми в индивидуальном строительстве для жилых и хозяйственных (гараж, сарай и т.д.) построек материалами являются соломобетон, а также камышебетон (камышитобетон) и костробетон (конопляный бетон, льнобетон), которые являются своего рода альтернативой саману (материал на основе глины и соломы). Для наполнителей этих материалов, как и для других растительных наполнителей, проводится предварительная минерализация. Данные материалы отличаются сравнительно невысокой прочностью, низкой огнестойкостью, высоким водопоглощением, высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, поэтому применяются они в основном для внутренних перегородок или внешних ограждающих конструкций при каркасном строительстве, возможно их применение и в качестве несущих конструкций при одноэтажном строительстве [6–8]. Для повышения прочности в состав смесей для этих легких бетонов вводят кварцевый песок, а для защиты от действия влаги обязательна отделка.

Другими материалами, набирающими популярность в индивидуальном строительстве, являются торфобетон, торфосиликат и торфогипс, в которых наполнителем являются гранулы торфа. По своим свойствам и области применения такие материалы близки к соломобетону, камышебетону и костробетону. Для снижения горючести торфобетонных изделий в их состав вводятся антипирены. Существует технология, по которой на торфяные гранулы наносится слой глины, а затем в результате тепловой обработки торф выгорает, и остается пустотелая гранула, которая, по сути, является заменителем керамзита и аглопорита.

Для всех рассмотренных выше легких бетонов с органическими заполнителями по сравнению с другими легкими бетонами характерны более низкие прочность на сжатие и стоимость при более высоких теплоизоляционных свойствах, прочности на изгиб и эластичности. Общими для этой группы материалов недостатками являются сравнительно низкие показатели влагостойкости, биостойкости, химической стойкости, огнестойкости и долговечности. Низкая прочность данной группы бетонов ограничивает их применение несущими и ограждающими конструкциями в малоэтажном строительстве. Для повышения прочности бетонов данной группы применяется армирование стальной или композитной арматурой или фиброй.

#### *Ячеистые бетоны*

Ячеистые бетоны являются разновидностью легких бетонов с искусственно формируемой в процессе производства пористой структурой. Твердение данной группы легких бетонов, как и в случае применения легких минеральных заполнителей, проводится автоклавным способом или естественным путем. Для данных бетонов также применяются аналогичные двум предыдущим группам вяжущие, принципы наименования и деление на конструкционные, теплоизоляционно-конструкционные и теплоизоляционные разновидности. Ячеистые бетоны применяют в монолитно-блочном и блочном строительстве для возведения несущих и ограждающих конструкций малоэтажных и высотных зданий.

В зависимости от способа формирования пористой структуры различают следующие разновидности ячеистых бетонов [9]:

– газобетоны, газосиликаты и газогипс (газогипсобетон), для получения которых в смесь наряду с заполнителем (кварцевым песком) и вяжущим вводится алюминиевая пудра, интенсивно образующая газовые пузырьки водорода при добавлении воды во время перемешивания смеси. Существует разновидность данной технологии, заключающаяся в газообразовании под вакуумом;

– пенобетоны, пеносиликаты и пеногипс (пеногипсобетон), для получения которых в смесь наряду с заполнителем (кварцевым песком) и вяжущим вводятся пенообразователи (белковые, протеиновые или синтетические вещества), которые предварительно доводятся до состояния пены в пеногенераторах. В результате при перемешивании смеси воздушные пузырьки от пены обволакиваются вяжущим, превращаясь в замкнутые поры после твердения;

– аэрированный легкий (ячеистый) бетон и аэрированный ячеистый силикат, по-

лучаемые путем аэрирования смеси под давлением (барботирования сжатым воздухом) с последующим снижением давления до атмосферного (баротермальный способ);

– пеногазобетон, пеногазосиликат, газопенобетон и газопеносиликат, получаемые путем сочетания методов аэрирования и газообразования.

Газобетон и пенобетон по прочности на сжатие уступают большинству легких бетонов на минеральных заполнителях и превосходят легкие бетоны на органических заполнителях, прочность на изгиб у ячеистых бетонов низкая, водопоглощение высокое, средние показатели по теплоизоляционным свойствам и усадке, низкая гвоздимкость, они характеризуются легкостью механической обработки и огнестойкостью. По сравнению с газобетоном у пенобетона выше усадка, теплопроводность и морозостойкость при более низких водопоглощении и прочности. Кроме того, из-за неравномерного распределения пор по объему пенобетона и по размерам для этого материала характерна неоднородность свойств. Стоимость пенобетона ниже, чем у газобетона. Для ячеистых бетонов необходимы гидроизоляция и облицовка, а для конструктивных видов рекомендуется установка теплоизоляционного слоя.

Разновидностями ячеистых бетонов являются материалы, в которых дополнительно содержатся заполнители для первых двух групп легких бетонов. Широко распространены такие материалы, как пенозолобетон, газозолобетон, пеношлакобетон, газшлакобетон, пеноарболит и газоарболит. Применение таких материалов приводит к сочетанию преимуществ и недостатков заполнителей и ячеистых структур. Также получила распространение разновидность газозолобетона под торговым названием «твинблок», выпускаемая в форме блоков автоклавного твердения с торцевыми пазогребневыми элементами, позволяющими уменьшить толщину шва при кладке. Твинблоки характеризуются высокой точностью геометрии, высокими значениями прочности и морозостойкости, однако для них характерна сравнительно высокая стоимость. Другими широко распространёнными разновидностями ячеистых бетонов являются фибропенобетон и фиброгазобетон, в которых в качестве армирующего заполнителя могут применяться стальные, базальтовые, стеклянные, углеродные, полипропиленовые и целлюлозные волокна.

#### *Пористая и пустотелая керамика*

Наиболее распространенным представителем данной группы изделий является

поризованная (теплая) керамика, выпускаемая в виде блоков (керамические блоки, керамоблоки, термоблоки, керамический камень) или в виде поризованных (пористых) кирпичей (термокирпич). Поризованную керамику получают на основе глинистого сырья, а для формирования пор в качестве выгорающих добавок наиболее часто применяют древесные опилки, торф, солому, гранулы пенополистирола, углеотходы, топливный шлак, золу и сельскохозяйственные отходы (шелуху гречихи, подсолнечника, риса и т.д.). Для повышения энергоэффективности керамоблоки выпускают с вертикальными пустотами различной формы, расположенными в шахматном порядке, а для удобства укладки боковые поверхности делают с выступами типа «паз» и «паз-гребень». Термокирпичи также выпускают с пустотами. Пустоты в поризованной керамике нередко делают заполненными утеплителем (в основном перлитом и минеральным волокном). Для поризованной керамики характерны сравнительно высокая прочность на сжатие и невысокая прочность на изгиб, хорошие тепло- и звукоизоляция, воздухо- и паропроницаемость, низкое по сравнению с легкими бетонами водопоглощение (однако рекомендуется гидроизоляция и облицовочный слой), высокая морозостойкость, негорючесть, биостойкость, низкая взводимость, экологичность, средние показатели точности геометрии и способности к механической обработке. Недостатком наличия пустот и зазора при соединении паз-гребень является возможность затекания в них кладочного раствора, что повышает теплопроводность, но этот недостаток устраняется при использовании специальной пластиковой сетки. Также к недостаткам поризованной керамики относится достаточно толстый слой кладочного раствора, создающий «мостики холода» (недостаток исправляется за счет теплого кладочного раствора с легкими минеральными заполнителями: пемзовыми, шлаковыми и керамзитовыми песками, перлитом, вермикулитом, пеностеклом и др.).

К этой группе материалов также можно отнести пустотелые кирпичи и строительную керамику, получаемую путем обжига глинистого сырья с добавлением как вышеуказанных выгорающих добавок, так и добавок, разлагающихся с выделением газов, образующих поры (мел, доломит и др.). Актуальным является использование в качестве порообразующих добавок отходов, например в качестве выгорающих добавок можно использовать полимерные отходы [10; 11], а в качестве разлагающих-

ся при обжиге добавок – шлам от реагентной очистки сточных вод гальванического производства [12].

Главными недостатками наличия пор в керамике являются снижение прочности и повышение водопоглощения. Одним из вариантов устранения такого недостатка является жидкофазное спекание с формированием слоя глазури на поверхности изделий (переводит большинство открытых пор в закрытые) за счет использования плавней и добавок, формирующих при обжиге стекловидную фазу, например стеклобоя [11; 13]. Такой способ повышает теплопроводность, поэтому для сохранения энергоэффективности следует подбирать количество добавок таким образом, чтобы количество образующейся при обжиге стекловидной фазы позволило сохранить достаточно высокую внутреннюю пористость. Наличие слоя глазури на поверхности изделий позволяет применять их в качестве лицевых и облицовочных. Также существует возможность формирования развитой мелкопористой структуры за счет использования в качестве добавки в керамическую шихту мелкодисперсных веществ, например трепела [14]. Как и в случае с другими энергоэффективными материалами, конструкционные разновидности пористой керамики можно применять и для несущих стен при высотном строительстве, и для ограждающих конструкций. Изделия с высокими теплоизоляционными свойствами можно применять для несущих стен только в малоэтажном строительстве. В случае применения самоглазурирующейся керамики с закрытопористой структурой в производстве плит можно использовать изделия для наружной облицовки при разной этажности. Также для всех керамических материалов характерны низкая теплопроводность и высокая теплоемкость, т.е. керамика долго нагревается и долго остывает, хорошо аккумулирует тепло, поэтому в домах из керамики температура мало изменяется в течение суток.

#### *Композитные изделия*

В эту группу авторами данной статьи были отнесены изделия, состоящие из нескольких слоев, один из которых является теплоизоляционным, придавая изделию и конструкции из него энергоэффективность.

Наиболее распространенными изделиями данной группы являются сэндвич-панели, представляющие собой два плоских или профилированных тонкостенных слоя из металла, поливинилхлорида или стекломгнезиевого листа, между которыми находится слой утеплителя (пенополиуретан,

пенополистирол или пенополиизоцианурат). Отдельные слои панели соединяются при помощи специального клея на полиуретановой основе. Сэндвич-панели отличаются легкостью, большим выбором цвета и быстротой монтажа. При сохранении целостности наружных слоев сэндвич-панели отличаются долговечностью, высокими теплоизоляционными характеристиками, морозостойкостью, стойкостью к агрессивным средам и атмосферостойкостью, однако у сэндвич-панелей плохая устойчивость к внешним механическим повреждениям. Еще одним недостатком сэндвич-панелей является низкая паропроницаемость. Различают стеновые и кровельные сэндвич-панели, причем у последних выше значения прочности и влагостойкости. Применяются сэндвич-панели для облицовки по системе вентилируемых фасадов, а также для возведения внешних и внутренних стен, кровельных работ при строительстве зданий с несущим каркасом.

Почти также широко распространены термопанели, являющиеся двухслойными изделиями, в которых внутренний слой выполнен из пенополистирола или пенополиуретана, а наружный слой выполняется из клинкерной, глазурованной керамогранитной или полимерпесчаной плитки, либо выполняется в виде имитации (из металла, полимерного покрытия, фибробетона и др.) под кирпичную кладку или натуральный камень. Преимущества и недостатки термопанелей практически идентичны по сравнению с сэндвич-панелями. Применяются термопанели для облицовки фасадов.

Схожими с сэндвич-панелями являются алюминиевые композитные панели (АКП или алюкобонд), состоящие из двух окрашенных алюминиевых листов, между которыми располагается полимерная композиция на основе полиолефинов или минеральный наполнитель на полимерном связующем. Существуют разновидности АКП, в которых внутренний слой выполнен из пенополиэтилена высокого давления или пенополиуретана – такие разновидности являются энергоэффективными изделиями. АКП отличаются легкостью, прочностью, гибкостью, морозостойкостью, влагостойкостью, разнообразием цветовой гаммы и долговечностью. Недостатками данных изделий являются горючесть, низкая абразивная стойкость и сравнительно высокая стоимость [15].

Еще одним схожим с сэндвич-панелями видом изделий являются SIP-панели (от английского Structural Insulated Panel – конструкционно-изоляционная панель), в которых слой теплоизоляционного материала

(пенополистирол, пенополиизоцианурат, пенофенопласт или базальтовая вата) находится между двух панелей из ориентированно-стружечных плит, реже из других материалов: фанеры, фибролита, гипсокартонной или гипсоволокнистой плиты. Преимуществами таких панелей являются высокая энергоэффективность, средние значения прочности на сжатие и изгиб, простота монтажа и легкость. Недостатками SIP-панелей являются горючесть, средняя биостойкость, низкая влагостойкость, токсичность продуктов горения теплоизоляционного слоя, низкая паропроницаемость, необходимость герметизации стыков панелей, внутренней и наружной отделки. Применяются SIP-панели в каркасно-панельном малоэтажном строительстве для получения ограждающих конструкций.

Другим видом композитных изделий на древесной основе является утепленный брус (термобрус, теплбрус, композитный брус, клееный многослойный брус, пассивный брус), представляющий собой слой утеплителя (пенополистирол, пенополиуретан или пенополиизоцианурат, реже базальтовая или целлюлозная вата) между двумя ламелями (тонкими досками) из древесины, преимущественно хвойных пород, которые в длину могут состоять из нескольких фрагментов. Деревянные ламели предварительно высушивают и обрабатывают для повышения биостойкости. Существуют разновидности термобруса, состоящие из нескольких чередующихся слоев ламелей и утеплителя. Преимущества и недостатки термобруса практически идентичны по сравнению с SIP-панелями. Характерным преимуществом является точность геометрии, а характерным недостатком – недолговечность.

К этой группе изделий могут быть отнесены многослойные стеновые блоки (теплоэффективные блоки, теплблоки, полиблоки, теплостен, кремнегранит), которые представляют собой трехслойную конструкцию из несущего и лицевого слоев из конструкционного или теплоизоляционно-конструкционного керамзитобетона и внутреннего теплоизоляционного слоя из пенополистирола. При этом лицевой слой декорирован под природный камень, а раствор при кладке наносится на керамзитобетонные слои. Слои такого блока скреплены соединением «паз-шип» и стеклопластиковыми или базальтопластиковыми стержнями с ограничителями. Преимуществами теплблоков являются скорость возведения стен из них, легкость, низкая теплопроводность, низкая усадка, хорошая звукоизоляция и преимущества, характерные для керамзитобетона. Основной недо-

статок таких блоков в том, что стыки между блоками будут проходить по всей толщине стены, поэтому к качеству кладки применяются повышенные требования. Также недостатками можно считать низкую паропроницаемость, горючесть и токсичность продуктов горения пенополистирола в составе теплоблоков. Теплоблоки применяются для возведения несущих стен в малоэтажном строительстве и могут применяться для ограждающих конструкций в многоэтажном каркасном строительстве [16].

Композитными энергоэффективными изделиями являются стеновые блоки несъемной опалубки из арболита, известные под торговыми названиями «бризолит», «дюрисол» и «теколит». После сборки стен из таких блоков в пустоты внутри них заливается бетонный раствор. Пустоты блоков для наружных стен частично заполнены вкладышами из пенополистирола, которые повышают теплоизоляционные свойства возводимых стен. До заливки бетона остается возможность проведения труб канализации и отопления прямо внутри блоков. Для данных изделий характерны сравнительно высокая прочность на сжатие, средние значения водопоглощения, морозостойкости и огнестойкости, хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства, паропроницаемость (значительно снижается при наличии вкладышей из пенополистирола). Недостатками блоков несъемной опалубки из арболита являются недолговечность и относительно высокая усадка. Применяются такие изделия для наружных и внутренних несущих стен многоэтажных зданий и частных малоэтажных загородных домов.

#### *Другие энергоэффективные строительные материалы и изделия*

Несмотря на появление новых строительных материалов, одним из востребованных и на сегодняшний день материалов остается древесина. Это связано с такими преимуществами древесины, как распространенность в природе, экологическая безопасность, легкость, высокие звуко- и теплоизоляционные свойства (теплопроводность древесины ниже, чем у ячеистых бетонов), относительно высокая прочность на сжатие и изгиб, хорошая гвоздимость, легкость механической обработки, химическая стойкость, высокие эстетические свойства. Вместе с тем у древесины много недостатков, к которым относятся низкие значения влагостойкости, атмосферостойкости и биостойкости, горючесть, высокие значения водопоглощения и гигроскопичности, анизотропия свойств и наличие пороков (сучки, косослой и др.), сравнительно

высокая стоимость. Свойства древесины сильно зависят от породы дерева, например осина отличается более высокой стойкостью к перепадам температур и влаги, а для дуба характерны высокие значения прочности и долговечности. Повысить водостойкость и биостойкость позволяет применение специальных пропиток или использование термодревесины, которая при производстве обрабатывается в безвоздушной среде при температуре около 180 °С, но в этом случае повышается стоимость материала. Строительными изделиями из древесины являются бревна (оцилиндрованные, строганные, окоренные), брус (цельный, профилированный, клееный), доска (террасная, блок-хаус, вагонка, сайдинг) и др. Изделия из древесины достаточно широко применяются в качестве отделочных материалов, а также для несущих и ограждающих конструкций в малоэтажном строительстве. К изделиям из древесины также относятся так называемые сучкоблоки, которые получают путем спрессовывания свежесрубленных ветвей в блоки, которые затем обвязывают в двух местах проволокой, удаляют неровности с боковых поверхностей, антисептируют и высушивают на воздухе. По своим свойствам сучкоблоки во многом схожи с другими изделиями из древесины, но отличаются меньшими значениями прочности и влагостойкости при более высоком водопоглощении. Различают конструкционные и теплоизоляционные разновидности сучкоблоков. Конструкционные блоки применяют в малоэтажном каркасном строительстве при обязательном наличии наружной облицовки [17].

К традиционным энергоэффективным материалам, применяемым для несущих и ограждающих конструкций в малоэтажном строительстве, относятся кирпичи, блоки и плиты из природных пористых минералов: туфа (также применяется как облицовочный материал), ракушечника и известняка. Для таких материалов характерны относительно высокая прочность на сжатие и невысокая прочность на изгиб, негорючесть, экологичность, средние теплоизоляционные свойства, высокое водопоглощение и средняя морозостойкость. Изделия из таких материалов применяются в первую очередь в регионах, где находятся их месторождения.

Относительно мало распространены в строительстве торфоблоки, известные также под названием «геокар» и получаемые путем прессования смеси из измельченного и увлажненного торфа, выполняющего роль связующего, с добавлением опилок, стружки, соломы, льнякостры и в ряде случаев минеральных добавок, повышающих

прочность и выполняющих роль антипиренов. Для торфоблоков характерны легкость, высокие тепло- и звукоизоляционные свойства, паропроницаемость, легкость механической обработки, биостойкость, невысокая прочность и горючесть. Торфоблоки применяются для внешних и внутренних ограждающих конструкций с обязательными наружной облицовкой (предпочтителен облицовочный кирпич) и внутренней отделкой.

Еще одним экологичным материалом являются грунтоблоки, которые, как следует из названия, получают прессованием природных грунтов, содержащих 15–30% глинистых частиц, с добавлением заполнителей (хвоя, опилки, торф, зола и др.). Для повышения прочности, влагостойкости и долговечности в состав грунтоблоков вводят цемент, известковые вяжущие или шлакоцемент с получением грунтобетонных блоков, а также смоляные, известково-смоляные или битумные стабилизаторы. Грунтоблоки и грунтобетонные блоки отличаются средней прочностью, низкой теплопроводностью, огнестойкостью и очень малой стоимостью. Недостатками грунтоблоков являются сравнительно высокое водопоглощение и невысокая влагостойкость. Разновидностью грунтоблоков являются глиноблоки (блоки из самана и блоки из глины с минеральными, древесными наполнителями и газообразующими добавками), которые наряду с кирпичом из самана и на сегодняшний день достаточно широко используются при возведении стен в малоэтажном строительстве в сухом климате.

Малораспространенным, но перспективным материалом является керпен (стеклокристаллическая пенокерамика), получаемый на основе природного глинистого сырья, смешанного с производственными отходами (стеклобой и шлаки) и карбидом кремния, который является газообразователем [18]. Керпен отличается средней прочностью на сжатие, легкостью, достаточно низкой теплопроводностью, низким водопоглощением, средней морозостойкостью, водостойкостью, негорючестью. Недостатками керпена являются низкая стойкость к ударным нагрузкам и хрупкость. Изделия из этого материала применяются для возведения внешних ограждающих конструкций, а также для облицовки стен и кровли.

На основе отходов могут быть получены и другие облицовочные изделия, представляющие собой композиционные материалы, в которых в качестве наполнителей применяются отходы минерального состава (стеклобой, кирпичный бой), а в качестве связующих термопластичные отходы (от-

ходы на основе поливинилхлорида и пенополистирола). Эти материалы отличаются средними значениями прочности на сжатие и изгиб, сравнительно низким водопоглощением и высокой морозостойкостью, средней для рассмотренных в данной работе материалов теплопроводностью [19; 20].

К энергоэффективным полимерным композиционным материалам также относятся теплоизоляционный и конструкционно-теплоизоляционный полимербетон, в которых связующими являются реактопластичные смолы (фурфурацетонная, карбамидоформальдегидная, фурано-эпоксидная, полиэфирная и др.), а в качестве наполнителя применяются древесные материалы (стружка, пробка), перлит или гранулы пенополистирола. Эти полимербетоны отличаются высокими значениями прочности, морозостойкости, абразивостойкости и химической стойкости при низких значениях теплопроводности и водопоглощения. Недостатками данных стройматериалов являются высокая стоимость, горючесть, сложность уплотнения композиционного материала и длительность отверждения связующих. Из конструкционно-теплоизоляционного полимербетона выполняют фундамент и несущие стены, а из теплоизоляционного – внутренние ограждающие конструкции.

Сравнительно мало распространенным, но перспективным и энергоэффективным материалом является геополимерный бетон (геобетон), в состав которого входят тонкомолотое алюмосиликатное сырье (природные алюмосиликаты, зола уноса или доменный шлак), гидроксид натрия или калия, силикаты натрия и калия (преимущественно применяется раствор силикатов натрия и калия – жидкое стекло) [21–23]. При перемешивании щелочной компонент растворяет алюмосиликатное сырье с образованием раствора алюминатов и силикатов, которые полимеризуются с образованием геля, который в свою очередь твердеет с образованием геополимера из чередующихся тетраэдров кремния и алюминия, связанных через атомы кислорода [21; 22]. Заполнителями в геобетонах являются гранулированные зола уноса и шлак, другие легкие минеральные наполнители и различные виды фибры. Существуют ячеистые геобетоны. Преимуществами геобетонов являются прочность, морозостойкость, низкое водопоглощение за счет мелкопористой структуры, химическая стойкость, негорючесть, эластичность, низкая усадка и быстрое твердение. Геобетоны применяются в монолитном и монолитно-блочном строительстве для получения несущих и ограждающих конструкций.

К энергоэффективным материалам и изделиям также можно отнести:

– термопрофили (перфорированные профили), представляющие собой швеллеры из тонкой оцинкованной стали и имеющие перфорацию в виде узких продольных отверстий (просечек), расположенных в шахматном порядке несколькими рядами на широкой плоскости швеллера. Благодаря перфорации во время теплопередачи через термопрофиль потоку тепла приходится огибать отверстия, что повышает тепловое сопротивление профиля, и он перестает быть мостиком холода. Термопрофили применяются для сооружения легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК), применяемых в качестве каркаса для быстровозводимых малоэтажных зданий или для внутренних ограждающих конструкций. Преимуществами каркасов из ЛСТК являются легкость, точность размеров и отсутствие усадки. Недостатками таких каркасов являются низкая несущая способность, необходимость звукоизоляции, потеря жесткости под воздействием высоких температур при пожаре;

– стеклопластиковые и базальтопластиковые арматура и гибкие связи (стержни-анкеры для подвижного соединения облицовочного и несущего слоев сквозь слой утеплителя в трехслойных стенах), которые в отличие от стальных аналогов позволяют избежать возникновения мостиков холода. Кроме того, композитные арматура и гибкие связи характеризуются сочетанием прочности и легкости, химической стойкостью. Недостатками данных изделий являются низкий модуль упругости, потеря прочности при пожаре из-за низкой термостойкости, невозможность сварки;

– энергоэффективные стекла и светопрозрачные конструкции, которые задерживают инфракрасное излучение внутри здания и препятствуют проникновению ультрафиолетового излучения извне. К этой группе относятся двойное, тройное и четверное остекление, низкоэмиссионные стекла (селективные стекла с металлооксидными покрытиями, которые обладают светопропускающей способностью, но отражают обратно внутрь здания тепловой поток), электрохромные стекла (стекла с возможностью изменения светопропускания и защиты от ультрафиолетового излучения за счет пропускания через них электрического тока), стекла с фотоэлектрическим эффектом (стекла с полупрозрачными покрытиями, позволяющими преобразовывать солнечную энергию в электрическую), рамные конструкции, в которых пространство между стеклами заполнено аэрогелем

(пенообразный материал, состоящий на 4% из силикона и на 96% из воздуха), инертными газами с низкой теплопроводностью, такими как аргон, ксенон и криптон, или в этом пространстве создано разрежение (вакуумные стеклопакеты), а также рамные конструкции из композитных материалов: стеклопластика, комбинаций стеклопластика, поливинилхлорида и древесных опилок [24; 25];

– применение фазопереходных веществ (парафинов, жирных кислот, гидратов солей), в т.ч. в микрокапсулированном виде, для нанесения на строительные конструкции, добавления в состав строительных материалов (керамики, бетонов и других вяжущих, лакокрасочных материалов) и применения в качестве засыпки для пустотелых и многослойных изделий. Фазопереходные вещества аккумулируют тепло при нагреве и отдают при охлаждении (при переходе из твердого состояния в жидкое и обратно) [26–28].

### Заключение

Таким образом, в настоящее время существует большое количество энергоэффективных материалов и изделий, из которых могут быть выполнены внутренние и внешние несущие и ограждающие строительные конструкции, что позволяет решать вопросы энергосбережения при эксплуатации малоэтажных и высотных зданий и сооружений. При этом ассортимент энергоэффективных строительных материалов и изделий постоянно расширяется. В настоящее время такие материалы в большинстве случаев обладают прочностью, недостаточной для формирования ответственных несущих частей крупного строения, и применяются только в малоэтажном строительстве или как теплоизоляционные слои при высотном строительстве, или для них характерны низкие показатели стойкости к воздействию внешних факторов, что является причиной обязательной наружной облицовки. В связи с этим актуальными задачами разработки энергоэффективных конструктивных и облицовочных изделий являются повышение прочности, в первую очередь на изгиб, снижение теплопроводности, повышение атмосферостойкости и влагостойкости, а также снижение стоимости.

### Список литературы

1. Nadesan M.S., Dinakar P. Structural concrete using sintered flyash lightweight aggregate: A review. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 154. P. 928–944.
2. Данилин Л.Д., Дрожжин В.С., Куваев М.Д., Куликов С.А., Максимова Н.В., Малинов В.И., Пикулин И.В., Редюшев С.А., Ховрин А.Н. Полюе микросферы из золуноса – многофункциональный наполнитель компози-

онных материалов // Цемент и его применение. 2012. № 4. С. 100–105.

3. Oreshkin D., Semenov V., Rozovskaya T. Properties of Light-weight Extruded Concrete with Hollow Glass Microspheres. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. P. 638–643.

4. Siddique R., Singh M., Mehta S., Belarbi R. Utilization of treated saw dust in concrete as partial replacement of natural sand. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 261. Article 121226. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121226.

5. Королева К.Е. Современные экологичные виды бетонов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2020. Т. 2. С. 250–254.

6. Ammari M.S., Belhadj B., Bederina M., Ferhat A., Quéneudec M. Contribution of hybrid fibers on the improvement of sand concrete properties: Barley straws treated with hot water and steel fibers. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 233. Article 117374. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117374.

7. Jami T., Karade S.R., Sing L.P. A review of the properties of hemp concrete for green building applications. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 239. Article 117852. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.117852.

8. Raheem A.A., Ikotun B.D. Incorporation of agricultural residues as partial substitution for cement in concrete and mortar – A review. *Journal of Building Engineering*. 2020. Vol. 31. Article 101428.

9. Жуков А.Д., Румянцев Б.М. Строительные системы. В 3 ч. Часть 2. Наружные системы облицовки и изоляции: учебное пособие. М.: Изд-во МГСУ, 2015. 432 с.

10. Перовская К.А., Петрина Д.Е., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Применение полимерных отходов для повышения энергоэффективности стеновой керамики // Экология промышленного производства. 2019. № 1. С. 7–11.

11. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Применение полимерных и стекольных отходов для получения самоглазующей облицовочной керамики // Экология и промышленность России. 2019. № 11. С. 38–42.

12. Сухарникова М.А., Пикалов Е.С. Исследование возможности производства керамического кирпича на основе малопластичной глины с добавлением гальванического шлама // Успехи современного естествознания. 2015. № 10. С. 44–47.

13. Шахова В.Н., Березовская А.В., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Сысоев Э.П. Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 13–18.

14. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка энергоэффективной облицовочной керамики на основе местного сырья и стекольного боя // Экология промышленного производства. 2019. № 3. С. 22–26.

15. Павлычева Е.А., Пикалов Е.С. Характеристика современных материалов для облицовки фасадов и цоколей зданий и сооружений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 4. С. 55–61.

16. Тарабукина С.Ю., Симанкина Т.Л., Кирилкина А.А. Эффективность теплоблока в качестве наружной ограждающей конструкции // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 3. С. 47–62.

17. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учебник для среднего профессионального образования. 4-е изд., перераб. и доп. В 2 ч. Часть 1. М.: Юрайт, 2019. 275 с.

18. Бакунов В.С., Кочетков В.А., Надденный А.В., Черепанов Б.С., Шелков Е.М. Многофункциональный керамический строительный материал – керпен // Строительные материалы. 2004. № 11. С. 10–11.

19. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Утилизация керамических и полимерных отходов в производстве облицовочных композиционных материалов // Экология и промышленность России. 2019. № 7. С. 36–41.

20. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекольных отходов // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2–6.

21. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Лисейцев Ю.Л., Пезин Д.Н., Зеленский И.Р., Смоляков А.К., Хроменок Д.В. Разработка фибробетонов на бещементных вяжущих // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 1. С. 124–130.

22. Фаликман В.Р., Охотникова К.Ю. Геополимерные вяжущие и бетоны в современном строительстве // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 4-1. С. 93–97.

23. Zhang P., Gao Z., Wang J., Guo J., Hu S., Ling Y. Properties of fresh and hardened fly ash/slag based geopolymer concrete: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 270. Article 122389.

24. Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Энергоэффективные вентилируемые светопрозрачные ограждающие конструкции // Энергосбережение. 2014. № 8. С. 62–65.

25. Давыдова Е.И., Гнам П.А., Тарасова Д.С. Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 5. С. 112–128.

26. Rathore P.K.S., Shukla S.K., Gupta N.K. Potential of microencapsulated PCM for energy savings in buildings: A critical review. *Sustainable Cities and Society*. 2020. Vol. 53. Article 101884. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101884.

27. Аймбетова И.О., Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Калшабекова Э.Н., Риставлетов Р.А. Теплофизические свойства фазопереходных теплоаккумулирующих материалов, применяемых в строительстве // Успехи современного естествознания. 2018. № 12–1. С. 9–13.

28. Левина Ю.С., Усачев С.М., Усачев А.М. Получение энергосберегающих строительных материалов на основе традиционного сырья и теплоаккумулирующих добавок // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 4–2. С. 124–126.

## СТАТЬИ

УДК 004.052.2

**АНИМАЦИЯ ТРАЕКТОРИЙ ПУТНИКА ОРЕМА – РИМАНА  
СРЕДСТВАМИ 3D-ГРАФИКИ****Навагина Н.Д., Сеничева Т.А., Балонин Н.А., Сергеев М.Б.***Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, e-mail: mbse@mail.ru*

В работе рассматриваются анимация, историческое и современное значения дзета-функции, как образца задачи в физической постановке для построения интерактивных дистанционных систем обучения с использованием анимационных 3D-технологий. Мотивация в выборе объекта состоит в том, что дзета-функция пользуется особым вниманием мировой научной общности, включая научных сотрудников, аспирантов и студентов. Показывается, что еще в XIV в. изучение движения вывело Николая Орема, ученика логики Буридана, к выводу о расхождении суммы гармонического ряда, дающего оценку пути равномерно устающего путника. Тем самым доказывалось, что он пройдет любое сколь угодно большое расстояние. Эйлер и Рамануджан – авторы сходных парадоксальных моделей, в которых путь оказывается конечен, несмотря на замедление или ускорение движения. Феноменологическая модель Римана, ученика Гаусса, завершила теорию рассмотрением движения с поворотами, объяснив теоретически сложные случаи. В работе показывается опыт анимационного 3D-отображения путников на студенческих математических серверах mathscinet.ru и livelab.spb.ru, а также комментируются влияние систем близких нулей на радиус области недостижимости для путника и связь этих оценок с теоремой С.М. Воронова об универсальности дзета-функции.

**Ключевые слова:** дзета-функция, нули функции, проблема Римана, ведущий ноль

**ANIMATION OF OREM-RIEMANN TRAVELER  
TRAJECTORIES USING 3D-GRAPHICS****Navagina N.D., Senicheva T.A., Balonin N.A., Sergeev M.B.***Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, e-mail: mbse@mail.ru*

The paper discusses the animation, historical and modern values of the zeta function, as an example of a task in a physical setting for constructing interactive distance learning systems using animated 3D technologies. The motivation for choosing an object is that the zeta function receives special attention from the world scientific community, including researchers, graduate students and students. It is shown that as early as the 14th century, the study of motion led Nikolai Orem, a follower of the logic of Buridan, to the conclusion that the sum of the harmonic series is infinite, interpreted as the path of a uniformly tired traveler. Thus it was proved that he will go through any arbitrarily large distance. Euler and Ramanujan are the authors of similar paradoxical models in which the path is finite, despite the slowdown or acceleration of movement. The phenomenological model of Riemann, a student of Gauss, completed the theory by considering motion with turns, explaining theoretically complex cases. The paper shows the experience of animated 3D display of travelers on student mathematical servers mathscinet.ru and livelab.spb.ru, as well as comments on the influence of systems of close zeros on the radius of the unreachable region for a traveler, and the connection of these estimates with S.M. Voronov's theorem on the universality of the zeta function.

**Keywords:** Zeta function, zeros of the function, Riemann problem, leading zero

Гипотеза Римана, ученика Гаусса, об особенностях расположения нетривиальных нулей дзета-функции признана одной из самых интересных в ее разрешении математических задач [1]. О повышенном внимании к этой проблеме можно судить по компьютерному ее исследованию академиком Ю. Матиясевичем [2] и выступлению другого крупного математика М. Атьи [3]. В первом случае любопытна практика преобразования комплексной плоскости так, чтобы критическая полоса перешла в круг с кольцом, вблизи которого концентрируются нули аппроксимирующей функции. Во втором – не менее интересна физическая интерпретация математической задачи, поскольку в тексте появляются физические константы, что вызывает неоднозначную реакцию среди математиков.

В нашей статье, посвященной компьютерному исследованию в интернет-сети «Живая книга» с исполняемыми онлайн алгоритмами [4, 5], важна именно вторая интерпретация, поскольку исторические корни этой проблемы уходят к попыткам в XIV в. изучить физическое движение построением первых графиков перемещений и скоростей путников, которых сегодня можно представить 3D-анимацией. Наглядно можно представить также изменения в их перемещениях с учетом изменений, внесенные в формулы Эйлера и Риманом, позволяющие большему числу читателей понять смысл этих преобразований.

Целью данной работы является графическое построение средствами анимационной 3D-графики аттракторов дина-

мических систем, описываемых рядом дзета-функции [1].

Большое внимание при выполнении этой работы было уделено исторической среде, давшей первую физическую трактовку дзета-функции, прозвучавшей в работах одного из первых иллюстраторов науки, изобретателя графиков, ученого и теолога Николая Орема.

По замыслу авторов работа, несмотря на ее ограниченный объем, должна охватывать не только текущие интерпретации, но и дать обзор возникновения взглядов.

*История моделей путников*

Первые модели движения, появившиеся в XIV в., концентрировали внимание на странности перемещений предметов в каюте движущегося корабля. Они происходили так, как если бы корабль стоял на месте. Это приводило к выводам, например, по отношению к Земле, которая уже тогда, благодаря измерениям до Солнца и Луны античной наукой, могла считаться подвижным кораблем среди них.

Логик Бурдан исключал двойственность толкования тем, что по воле высших сил свершается только то, что приносит больше добра, а предположение о движении Земли никому не нужно (бесполезно). Его ученик, Николай Орем, строя график перемещения предмета точками, напоминающими вместе с осью времени отрезки пирога, овладел новым для тех времен методом абстракции. Он понял, что по вертикальной оси можно откладывать не только путь, но и скорость. В итоге он доказал, что равномерно устающий путник проходит одинаковый путь с путником, движущимся со средней скоростью, которая на графике скоростей, естественно, выглядит как средняя точка между начальной и конечной скоростями.

Для описания равномерного устания годится гармонический ряд  $1/n$ , описывающий все более короткие отрезки проходимого пути. Отсюда он вывел неожиданный для его современников вывод: путник, скорость которого падает до любой сколь угодно малой величины, пройдет любой по протяженности путь, поскольку всегда можно вычислить время равномерного движения. В теории дзета-функции эти параметры движения отвечают ее единственному полюсу. Это заключение, как видно, касается физической модели пути, оперирует физическими понятиями. Странность его только подчеркивалась тем, что если путник устает быстрее, например в виде  $1/n^2$ , то путь оказывается конечным.

Леонард Эйлер, который, находясь в петровской Академии, выступил собирателем различных математических и исторических фактов, был очень мощным вычислителем и установил длину пути, которую пройдет указанный путник, движущийся медленнее, – она оказалась пропорциональной квадрату числа  $\pi$  [1]. Что касается путника, который движется быстрее, проходя отрезки пути  $n$ , то еще в начале прошлого века зарождающийся в Индии талант Рамануджан описывал британскому профессору Харди эту ситуацию как анекдотическую, поскольку путник как будто бы проходил точку бесконечности и появлялся с противоположной стороны, не доходя до начала своего пути величины, обратной дюжине –  $1/12$ .

Для Харди это тоже было потрясением, но иного характера, поскольку выходило, что молодой клерк, провинциал, самостоятельно вычислил значение очень абстрактной функции, созданной математическими талантами Орема, Эйлера и Римана. Ученик Гаусса Риман нашел специфический выход для описаний движения путников, движущихся быстрее путника Орема. Для этого нужно всего лишь только позволить им вполне безобидное действие – менять направление движения. Разумеется, бесконечный путь нельзя уложить вдоль сколь угодно петляющей нити, на то он и бесконечный. Но ведь петляние может стать однообразным и свестись к тому, к чему давно привыкли физики – к сколь угодно долго успокаивающимся колебаниям. В теории динамических систем, которая тогда еще только зарождалась, есть понятие реакции аperiodической или колебательной системы. Статический коэффициент усиления ее отделяется от гармонических составляющих, позволяя судить о точке успокоения. Этим же способом пользуется продавец, смотря на стрелку пружинных весов.

Так получилось, что Эйлер, который всего лишь менял вещественные показатели степени усталости, но не менял направление, не мог придти к наблюдениям, которые возникли у Римана, применившего нехитрый прием – в  $1/n^s$  степень  $s$  стала комплексной. В итоге отрезок пути, не меняя протяженности, описываемой модулем комплексного числа, обзавелся сменой направления. Отсюда понятным становится, что путник, при соответствующем выборе  $s$ , вполне может повернуть назад и оказаться рядом с началом пути. Для иллюстрации приведем построенный нами один из характерных графиков перемещения путника Орема с учетом смены направления пути по Риману (рис. 1).

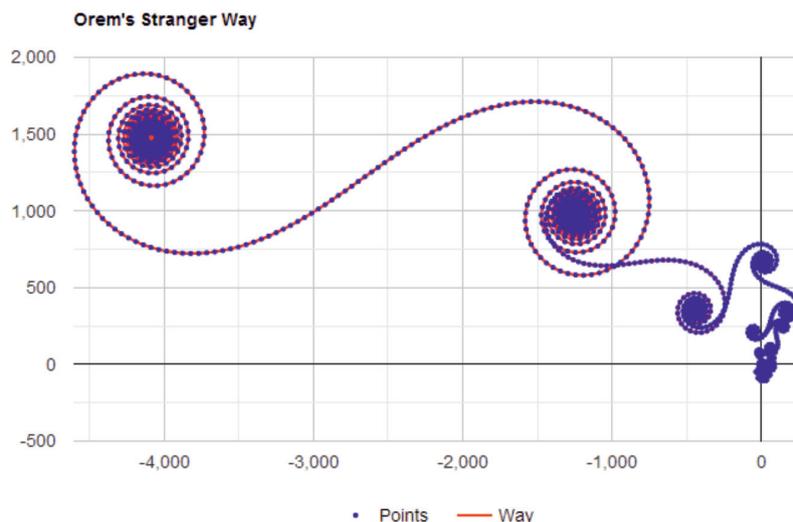


Рис. 1. Путь путника Орема по формуле Римана

Как видно, бесконечность пути нисколько не мешает нам устанавливать конечную дистанцию, которую он пройдет до точки своего финального завихрения. Характерные похожие на клотоиды эволюции этого пути возникают благодаря дискретности модели – аналогичные эволюции совершают колеса автомобилей на киноплёнке, катящиеся назад. Физики любят математические модели с бесконечностями, они позволяют водить разного рода виртуальные частицы и даже порождать их из вакуума. Объясняя тем самым парадоксы, которые сложно объяснить в рамках более мирной математики. Парадокс Рамануджана, в частности, объясняется тем, что при вариации  $s$  путник прибывает в точку, близкую к  $-1/12$  (назад) примерно так, как это показано на рис. 1. Рассматриваемый параметр  $s=1$  как предельная точка сэта таких настроек, она ничего парадоксального в себе не содержит и доступна пониманию продавца селедки. А ведь люди еще в начале прошлого века считали подобное равенство суммы положительных натуральных чисел отрицательной дробной величине поводом для размещения в психлечебнице. О чем и пишет не без юмора клерк из Индии профессору Харди.

#### *Анимированные физические модели*

Физические модели развивал своим дифференциальным исчислением Эйлер, установивший разложение экспоненты на гармоники. В теории динамических систем неустойчивость, описываемая экспонентой, не является поводом для отказа от понятия статического коэффициента. Блуждания могут быть в том числе и расходящиеся. Парадоксы условно суммиру-

емых рядов нас не касаются, поскольку они строятся на обыденном для динамических систем материале – нельзя передергивать и переставлять точки движения.

В самом деле, не все равно, когда вы выстрелили в танк. До обеда или после обеда. Сообразно вашему выбору он и остановится, чего же в этом странного или удивительного.

Не стоит забывать, однако, что и Эйлер, и Рيمان жили задолго до установления сложившейся терминологии динамических систем. Они нарабатывали свои понятия и представления, которыми часть специалистов охотно пользуется. Рيمان не мог не отметить, что перестановки негативно сказываются на однозначности итогов суммирования. Эйлер же указывал выход, который он ощущал в дифференциальном исчислении. Подчеркивая физичность нашей модели, мы наработали 3D-модель путника (рис. 2).



Рис. 2. Модель путника Орема

Следуя логике Римана, он ходит следующим образом. В каждой точке останова, отвечающей значению частичной суммы ряда, он приподнимает ногу и делает пируэт – поворот на описываемый фазой  $1/n^s$  угол. Далее он, собственно, ничем не отличается от путника Орема или Эйлера, проходя дистанцию, описываемую модулем. То есть, если он без поворотов проходил расстояние, пропорциональное квадрату числа  $\pi$ , то он и будет его проходить. Это будет, если учитывать повороты, длина его криволинейного пути. Расстояние до конечной точки, куда он дошел, совершая блуждания, естественно, окажется иным – ведь мы измеряем его в метрике, никак не связанной с путем. Шагомером солдат не пользуется.

Вид путника Орема на рис. 2 напоминает деревянного солдата из сказки про Урфина Джюса и выбран нами в силу простоты сборки макета из «полешек-цилиндров». Эта форма удобна для передачи ее примитивами распространенной трехмерной браузерной графики Three.js. Приведенная графическая модель, среди прочих, хранится на сайте [5]. В работах студентов это могут быть иные персонажи сказок, например, Красная Шапочка, которой пируэт на одной ножке больше подходит, чем дуболому.

При качественной анимации это могут быть достоверно похожие на людей персонажи с их мыслями, эмоциями (усталость) и прочим. Нам кажется это большим и интересным направлением трехмерной анимации сходных математических задач. Интересным является также то, что можно построить такую же графическую интерпретацию, только не пути, а изменений комплексного коэффициента усиления релей-

ной линии, описываемой добавкой Л. Эйлера

$$\zeta(s) = \frac{1}{1^s} + \frac{1}{2^s} + \frac{1}{3^s} + \dots = \sum_{t=1}^{\infty} t^{-s} = \prod_p \frac{1}{1-p^{-s}}.$$

Оба эти метода должны дать одинаковый результат. Сложность пути при большом значении мнимой части аргумента можно оценить по графику (рис. 3), который мы не случайно назвали «картой Европы».

Из всего этого сложного пути, анимация построения которого представлена на сайте [5], показывающем множество еще других частных деталей, берется одна конечная точка, слагающая аттрактор второго уровня.

#### Область недостижимости

Аттрактор второго уровня описывает место, куда устремлен путник. В силу того, что путь «складывается» из блужданий путника и что компромиссный взгляд Л. Эйлера описывает конечную точку пути как точку уравновешивания колебаний (среднюю точку), аттрактор второго уровня не столь далеко отходит от нуля, как это происходит, например, в случае однонаправленного движения. Риман следовал Гауссу, занимавшемуся интерпретацией точек на плоскости числами. Можно добавить еще и третью ось времени  $n$ , выстраивая не некий обобщенный фазовый портрет, а аналог интегральной кривой. Причем этот аналог может касаться также аттрактора второго уровня (конечные точки путей), который строят двумерным, а мы изобразим в 3D-графике трехмерным, откладывая вверх значение мнимой части  $s$ . Как видно из рис. 4, если модуль степени усталости  $s$  больше  $1/2$ , то между вертикальной осью от нуля и аттрактором возникает цилиндр области недостижимости. То, что его диаметр больше 0, составляет содержание знаменитой гипотезы Римана.

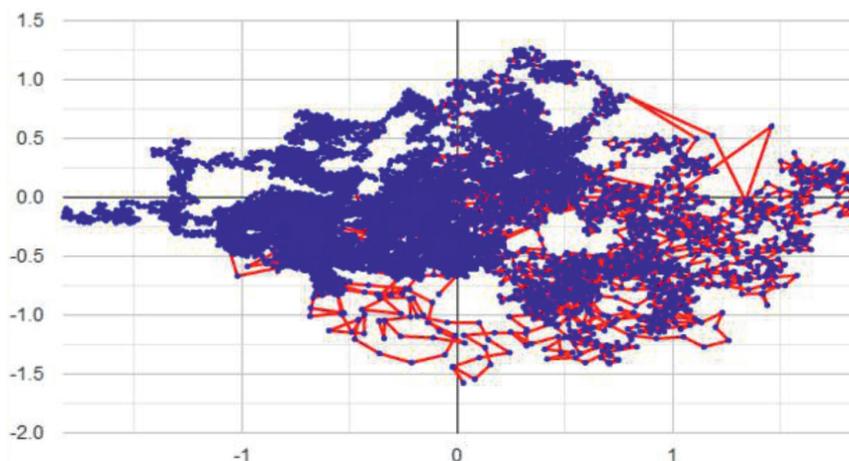


Рис. 3. Путь путника, напоминающий карту Европы

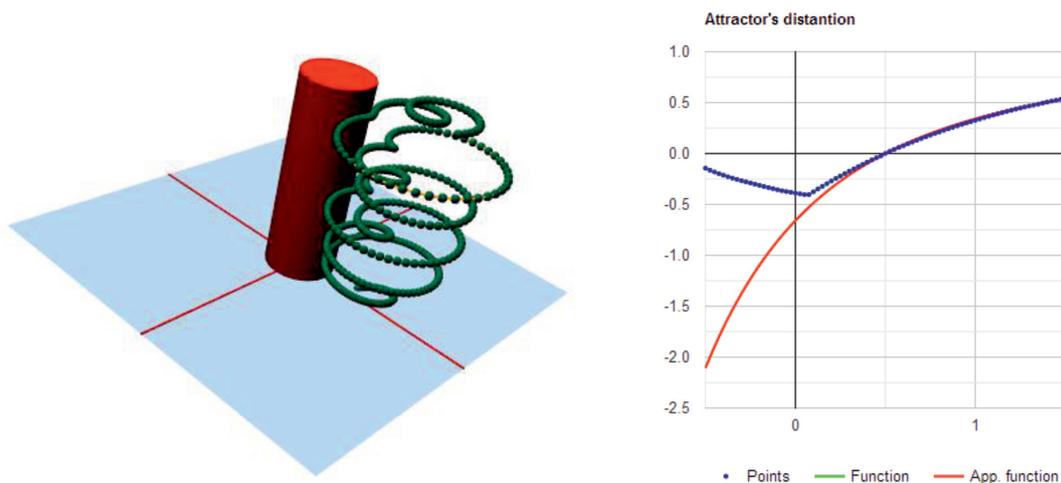


Рис. 4. Аттрактор конечных точек и график радиуса области недосягаемости

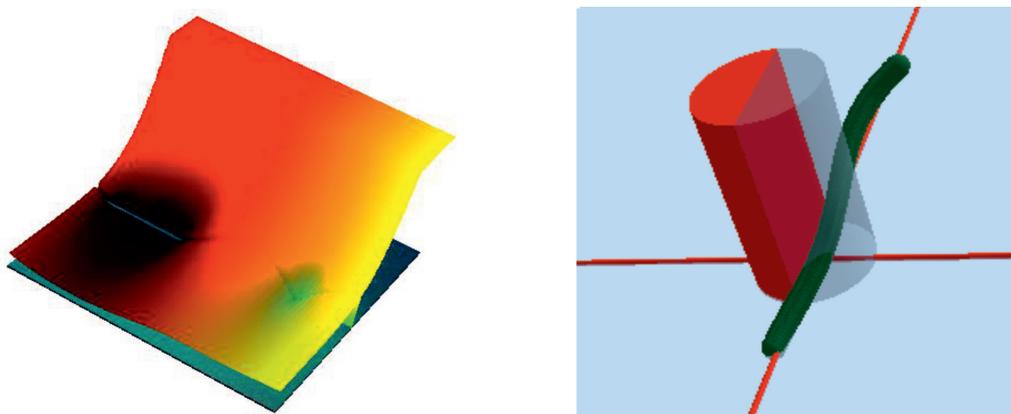


Рис. 5. Близкие нули и нарушение аттрактором границы области недосягаемости

Витки дзета-функции (а также и пути путника!) не заходят в область недосягаемости, образованную отчасти усталостным (периметром пути), отчасти кинематическим фактором (его извилистостью). Это касается сколь угодно сложного пути, а предела фрактальной сложности нет. Иными словами, показатель степени  $s$  (за вычетом  $1/2$ ) вполне может играть роль искомого Оремом *импетуса*, то есть первого представления об энергии или, вернее, дефиците энергии, не позволяющей достичь нужной точки. Древние исследователи представление об этом имели, хотя бы в единицах запасов пищи для путников.

*Оценка радиуса области недосягаемости и теорема Воронина*

Рассмотрим масштабирующий множитель  $M = a(a-1)\pi^{-a/2}\Gamma(a/2)/2$  кси-функции  $\xi = M\zeta$ , проходящий через нуль в точ-

ке  $\text{Re}(s) = a = 1$ . Будучи наращен добавкой  $(1/4)!/2\pi^{1/4}$ , он дает оценку радиуса области недосягаемости, отмеченную на рис. 4 красным цветом и откладываемую вниз левее точки пересечения нуля. Синим цветом отмечены реальные оценки дистанции до нуля, вычисленные на ограниченном диапазоне изменений мнимой части. Выброс с изломом синей кривой обеспечен первым минимумом модуля дзета-функции вблизи вещественной кривой. Таким образом, область недосягаемости корректируется минимумами, особенно сильными в окрестностях сближения нулей. Первое сближение трех нулей на критической линии  $a = 1/2$  в области значений их мнимой части  $b = 7563.183, 7563.520, 7563.769$  дает сильный спад функции (рис. 5).

Возможное доказательство гипотезы Римана состоит в выяснении характера синей кривой (рис. 4), учтен пока только

один крупный минимум. Изломы понижают значение ее, но поскольку таких точек неограниченное множество, можно предположить, что радиус области достижимости описывается аналитической функцией и, согласно теореме С.М. Воронина [6], точно так же как и его первое приближение красной линией, он описывается фрагментом смещенной дзета-функции. Поскольку она монотонна, то это обеспечивает гипотезу Римана гарантией, что нули встречаются только при  $a = 1/2$ .

Кроме путника Дзета можно ввести путника Эту, манера движения которого изменена на периодически повторяемый попятный шаг. Хорошо известно, что траектории обоих путников связаны простой аналитической зависимостью, но путник Эта движется медленнее. Поэтому он имеет не одну, а две критические полосы и две цепочки нетривиальных нулей. Иными словами, это расщепление пути путника Орема – Римана, подобное расщеплению линий спектра, очень характерное для задач детерминированного хаоса.

При пристальном изучении оказывается, что походок и путников больше и все они имеют физическую интерпретацию, что и привело Майкла Атью к физической трактовке дзета-функции, вплоть до учета мировых констант физики в доказательстве гипотезы Римана [3]. Известно, что Атья широко пользовалась аппаратом сложных преобразований, до сих пор изучаемых и разбираемых математическим сообществом. Пары близких нулей напоминают пары простых чисел, образующих составное число. Так как составные числа объясняют нарастающую редкость простых чисел, еще Гаусс заподозрил (а Риман это выразил), что комплексы нулей повторяют логику появления простых чисел. Возможно, инверсно, при движении от бесконечности, так как закон Грама начала прошлого века описывает равномерное следование нулей на критической полосе, позволяющее вычислять межзвездия между ними. Парность, нарушающая закон Грама, стягивает траектории к нулю, образуя предпосылки для поиска некоторых *ведущих* (к минимумам) нулей вне критической прямой.

Отечественный математик Анатолий Карацуба не только заметил, что модуль функции подтягивается к нулю при наличии пар близких нулей, но и исследовал это

явление. Множество тонких и весьма точных рассуждений А. Карацубы и его ученика М. Королева обращает нас к учету этого важного случая. Можно вводить и рассматривать *пары* близких путников. Это изложено на учебных серверах [5, 7] и породило цепочку 3D-анимаций, с которыми можно ознакомиться там же по их демонстрационным версиям.

### Заключение

В своих выпускных квалификационных работах соавторы статьи – студенты описали более детально все исторические параллели и технические особенности, послужившие основой для этой первой публикации.

Работа удачно вписалась в учебный процесс кафедры вычислительных систем и сетей ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», так как во время самоизоляции, связанной с пандемией коронавируса COVID-19, примеры на сайтах, выполненных с использованием технологии «Живая книга» [4, 5, 7], послужили основой для построения анимаций не только при исследовании дзета-функции Римана, но и задач поиска ортогональных матриц Адамара, биологического компьютеринга, моделей механических стендов и многого другого.

### Список литературы

1. Карацуба А.А. Венский доклад: о количестве нулей дзета-функции Римана на коротких промежутках критической прямой // Чебышевский сборник. 2015. № 16. С. 19–31.
2. Матиясевич Ю.В. Тайная жизнь дзета-функции Римана // Общественный семинар «Математика и ее приложения» Математического института им. В.А. Стеклова РАН. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_nAkSJLNxf0](https://www.youtube.com/watch?v=_nAkSJLNxf0) (дата обращения: 10.06.2020).
3. Atiyah M. The Riemann hypothesis // Google drive archive. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://drive.google.com/file/d/17NBICP6OcUSucrXKNWvzLmrQpfUrEKuY/view> (дата обращения: 10.06.2020).
4. Балонин Н.А., Сергеев М.Б. Концепция электронного журнала с исполняемыми алгоритмами // Фундаментальные исследования. 2013. № 4–4. С. 791–795.
5. Балонин Н.А., Сергеев М.Б. Облачные вычисления «Живая книга» «LIVELAB.SPB.RU». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.livelab.spb.ru> (дата обращения: 10.06.2020).
6. Воронин С.М. Теорема об «универсальности» дзета-функции Римана // Известия АН СССР. Сер. матем. 1975. Т. 39. № 3. С. 475–486.
7. Научная математическая сеть имени Леонарда Эйлера. История путника Николая Орема. [Электронный ресурс]. URL: <http://mathscinet.ru/matrices/dzeta/index.php> (дата обращения: 11.06.2020).