

**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

№ 9 2019

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.

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

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

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

*к.м.н. Н.Ю. Стукова*

**Ответственный секретарь**

*к.м.н. М.Н. Бизенкова*

**EDITOR**

*Natalia Stukova*

**Senior Director and Publisher**

*Maria Bizenkova*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ  
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED  
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

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

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

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

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

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

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

Учредитель, издательство и редакция:  
НИЦ «Академия Естествознания»

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

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

**ISSN 1996-3955**

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

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

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Л.М. Байгузова

Корректор Е.С. Галенкина

Подписано в печать 27.09.2019

Дата выхода номера 27.10.2019

Формат 60x90 1/8

Типография

НИЦ «Академия Естествознания»

410035, г. Саратов,

ул. Мамонтовой, д. 5

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 13,38

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2019/9

© НИЦ «Академия Естествознания»

## СОДЕРЖАНИЕ

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

- ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ УБИНСКОГО РАЙОНА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ  
*Безбородова А.Н., Сайб Е.А.* ..... 7
- ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И АДАПТАЦИОННЫЕ РЕЗЕРВЫ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ  
У ДЕВОЧЕК 7–15 ЛЕТ  
*Тятенкова Н.Н., Кузьмичева А.П., Митягова А.А.* ..... 13
- ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСОРЦИУМОВ МИКРООРГАНИЗМОВ  
НА ПРОЦЕСС ПЕРЕРАБОТКИ ОБЕЗВОЖЕННЫХ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ  
МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ  
*Хасенова Э.Ж., Сембаев К.Д., Молдагулова Э.Б.,  
Нагызбеккызы Э., Сарсенова А.С., Дуамбеков М.С.* ..... 18

**ОБЗОРЫ**

- НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННЫХ ГЕНОМНЫХ  
И ГЕННО-ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ  
*Бурсаков С.А., Ковальчук С.Н.* ..... 22
- МЕХАНИЗМЫ И ФАКТОРЫ АНГИОГЕНЕЗА  
*Шамитова Е.Н., Сымулова И.С., Леванова М.М., Кашиеварова Э.А.* ..... 30

**МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

- ВЛИЯНИЕ НЕЙРОГЕНЕЗА НА ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИЧНОСТИ  
*Радзевич А.В., Алексеенко И.В., Старовойтова А.А.* ..... 35
- СОМАТИЧЕСКАЯ ПАТОЛОГИЯ И ОСЛОЖНЕНИЯ ГЕСТАЦИИ У ЖЕНЩИН  
ГОРОДА БИШКЕКА: ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РИСКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА  
*Самигуллина А.Э., Торегельдиева Ч.Б., Назаралиева С.Б.* ..... 39
- ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НЕОМЫЛЯЕМЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАСЕЛ АВОКАДО  
И СОЕВЫХ БОБОВ НА ОСНОВЕ ПРЕПАРАТА «ПИАСКЛЕДИН 300».  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕН НА ДАННЫЙ ПРЕПАРАТ В АПТЕКАХ ГОРОДА ВОРОНЕЖА  
*Семёнова Е.В., Васищева Е.Б., Номоконова Е.О.* ..... 46

**ОБЗОРЫ**

- ХРОНИЧЕСКИЙ ЭНДОМЕТРИТ: СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ЛЕЧЕНИЯ,  
НАПРАВЛЕННЫЕ НА СНИЖЕНИЕ РЕПРОДУКТИВНЫХ ПОТЕРЬ  
*Калинина Н.С., Петров Ю.А.* ..... 51
- ПАТОЛОГИЯ СЕРДЦА ПРИ СЕПСИСЕ  
*Щеголев А.И., Туманова У.Н., Мишинёв О.Д.* ..... 56

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ТЕРМОДИНАМИКА ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ОБЕДНЕНИЯ СИСТЕМЫ Cu-Me-Fe-O-SiO<sub>2</sub>  
(Me – Pb, Zn, As) ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

*Досмухамедов Н.К., Федоров А.Н., Жолдасбай Е.Е.* ..... 62

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ <sup>85</sup>KR В АТМОСФЕРЕ ПО ПРОБАМ КРИПТОНА,  
ОТОБРАННЫМ В НОРИЛЬСКЕ

*Епифанова И.Э., Иванов В.Н., Тертышник Э.Г., Епифанов А.О., Сахибгареев Д.Г.* ..... 69

МЕТОДИКА РАССМОТРЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВОМ ЗАКАЗЧИКА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ

*Киров А.В.* ..... 75

ВОДА КАК АККУМУЛЯТОР СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

*Кузьмин Г.П., Куваев В.А.* ..... 80

РАЗВИТИЕ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РЕЛЬЕФА ДНА И ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Римский-Корсаков Н.А., Тронза С.Н., Анисимов И.М.* ..... 85

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

ПРАКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ ЕСТЕСТВЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

*Дубас Л.Г.* ..... 91

ОСОБЕННОСТИ ЗАПИСИ ГОЛОГРАММ ФРЕНЕЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Исманов Ю.Х., Жумалиев К.М., Алымкулов С.А.* ..... 97

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ****СТАТЬИ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА СМЕСИ УГЛЕВОДОРОДОВ ГЕКСАН-ГЕКСЕН

*Джаббарова Л.Ю., Акберов Р.Я., Мустафаев И.И., Меликова С.З., Ахмедова Т.Н.* ..... 101



---

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

- ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF WATERLOGGING USING GIS-TECHNOLOGIES  
ON THE EXAMPLE OF UBINSKY DISTRICT OF NOVOSIBIRSK REGION  
*Bezborodova A.N., Sayb E.A.* ..... 7
- FUNCTIONAL AND ADAPTIVE RESERVES OF CIRCULATORY SYSTEM  
OF GIRLS AGED 7 TO 15  
*Tyatenkova N.N., Kuzmicheva A.P., Mityagova A.A.* ..... 13
- STUDYING THE EFFECT OF CONSORTIUMS OF MICROORGANISMS ON THE PROCESS  
OF PROCESSING OF WASTE-WARMED SILVER DEPOSITS BY SOLID PHASE ENZYMATIION  
*Khasenova E.Zh., Sembaev K.D., Moldagulova E.B.,  
Nagyzbekkyzy E., Sarsenova A.S., Duambekov M.S.* ..... 18

**REVIEWS**

- SOME ASPECTS OF MODERN GENOMIC AND GENE-ENGINEERING  
TECHNOLOGIES IN DAIRY CATTLE  
*Bursakov S.A., Kovalchuk S.N.* ..... 22
- MECHANISMS AND FACTORS OF ANGIOGENESIS  
*Shamitova E.N., Symulova I.S., Levanova M.M., Kashevarova E.A.* ..... 30

**MEDICAL SCIENCES**
**ARTICLES**

- NUTRITION AS THE DOMINANT FACTOR IN NEUROGENESIS  
*Radzevich A.V., Alekseenko I.V., Starovoytova A.A.* ..... 35
- SOMATIC PATHOLOGY AND COMPLICATIONS OF GESTATION IN BISHKEK WOMEN:  
THE PREDICTIVE SIGNIFICANCE OF RISKS OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION  
*Samigullina A.E., Toregeldieva Ch.B., Nazaralieva S.B.* ..... 39
- STUDYING ABOUT PROPERTIES OF AVOCADO AND SOYA BEANS UNSAPONIFIABLE  
OIL BASED ON MEDICINE «PIASKLEDINE 300». RESEARCH OF PRICES  
FOR THIS MEDICATION IN THE PHARMACIES OF VORONEZH CITY  
*Semenova E.V., Vasisheva E.B., Nomokonova E.O.* ..... 46

**REVIEWS**

- CHRONIC ENDOMETRITIS: MODERN PRINCIPLES OF TREATMENT  
AIMED TO REDUCE REPRODUCTIVE LOSSES  
*Kalinina N.S., Petrov Yu.A.* ..... 51
- PATHOLOGY OF THE HEART IN SEPSIS  
*Shchegolev A.I., Tumanova U.N., Mishnev O.D.* ..... 56

**TECHNICAL SCIENCES****ARTICLES**

- THERMODYNAMICS OF RESTORATIVE SUSPENSION Cu-Me-Fe-O-Si<sub>2</sub>  
(Me – Pb, Zn, As) SYSTEMS BY NATURAL GAS  
*Dosmukhamedov N.K., Fedorov A.N., Zholdasbay E.E.* ..... 62
- MONITORING OF <sup>85</sup>KR'S CONTENT IN ATMOSPHERE BY CRYPTON  
SAMPLES FROM NORILSK  
*Epifanova I.E., Ivanov V.N., Tertyshnik E.G., Epifanov A.O., Sakhibgareev D.G.* ..... 69
- METHOD OF CONSIDERATION OF DESIGN DOCUMENTATION BY REPRESENTATIVE  
OFFICE OF THE CUSTOMER IN ELECTRONIC VIEW  
*Kirov A.V.* ..... 75
- WATER AS A SOLAR ENERGY BATTERY  
*Kuzmin G.P., Kuvaev V.A.* ..... 80
- DEVELOPMENT OF THE DEEP-WATER SONAR TECHNOLOGIES FOR BOTTOM  
RELIEF AND UNDERWATER OBJECTS RESEARCH.  
*Rimskiy-Korsakov N.A., Tronza S.N., Anisimov I.M.* ..... 85

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

- PRACTICAL SYSTEM OF UNITS OF NATURAL PHYSICAL QUANTITIES  
*Dubas L.G.* ..... 91
- FEATURES OF RECORDING OF FRENEL HOLOGRAMS  
OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS  
*Ismanov Yu.Kh., Zhumaliev K.M., Alymkulov S.A.* ..... 97

**CHEMICAL SCIENCES****ARTICLES**

- HEXANE-HEXENE HYDROCARBONS MIXTURE RESEARCH  
UNDER THE INFLUENCE OF RADIATION  
*Dzhabbarova L.Yu., Akberov R.Ya., Mustafaev I.I., Melikova S.Z., Akhmedova T.N.* ..... 101

СТАТЬИ

УДК 551.312.2:528.921(571.14)

**ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЗАБОЛАЧИВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ  
УБИНСКОГО РАЙОНА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Безбородова А.Н., Сайб Е.А.**

*ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии» СО РАН, Новосибирск, e-mail: sajb@issa-siberia.ru*

В данной работе изучена возможность использования существующего картографического материала при исследовании заболоченных земель на примере Убинского района Новосибирской области, а также сделана попытка оценить общее направление динамики заболачивания земель с помощью геоинформационных технологий. Изучение и анализ топографических карт ГосГисЦентра 1:100 000 масштаба показали, что данный картографический материал не подходит для исследования заболоченных территорий. Поэтому для изучения болот и динамики заболачивания территории был предложен подход для создания карт с использованием автоматической обработки (классификации) данных дистанционного зондирования. В работе использовались разновременные мультиспектральные снимки среднего разрешения (Landsat), на их основе был получен новый картографический материал, по которому дана оценка общей тенденции заболачивания территории и получены данные об изменениях структуры и состояния болот, происходящих во времени и пространстве на исследуемом участке. Сравнение двух разновременных тематических карт показало, что за последние два десятилетия в южной части исследуемой территории заболоченные земли практически исчезли, уступив место лесам и лугам, а северная часть заболачивается, также хорошо выделяются яры лесостепной зоны Западной Сибири и видны серьезные изменения, происходящие с Убинским озером.

**Ключевые слова:** ГИС-технологии, космические снимки, тематическое картографирование, временная динамика, болота, заболачивание

**ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF WATERLOGGING  
USING GIS-TECHNOLOGIES ON THE EXAMPLE  
OF UBINSKY DISTRICT OF NOVOSIBIRSK REGION**

**Bezborodova A.N., Sayb E.A.**

*Institute of Soil Science and Agrochemistry of ISSA SB RAS, Novosibirsk, e-mail: sajb@issa-siberia.ru*

In this paper, the possibility of using existing cartographic material in the study of wetlands on the example of the Ubinsky district of the Novosibirsk region was investigated. The attempt to assess the general direction of the dynamics of waterlogging with the help of geoinformation technologies was made. The study and analysis of topographic maps of the state GIS Center of 100 000 scale showed that this cartographic material is not suitable for the research of wetlands. Therefore, an approach for the study of bogs and waterlogging dynamics of the territory was proposed to create maps using automatic processing (classification) of remote sensing data. The multi-temporal multispectral images of medium resolution (Landsat) were used. The new cartographic material, based on Landsat, was obtained and used to assess the general trend of waterlogging of the territory; and to obtain data on changes in the structure and condition of wetlands occurring in time and space in the study area. The comparison of two multi-temporal thematic maps showed that over the past two decades, in the southern part of the study area wetlands nearly disappeared, giving way to forests and meadows, while the northern part continues swamping, also the raised bogs stand out well in the forest-steppe zone of Western Siberia and serious changes in the Ubinsky lake can be observed.

**Keywords:** geoinformational technologies, space images, thematic mapping, time dynamics, bogs, waterlogging

Традиционно мониторинг водных объектов, в том числе и болот, осуществлялся в России органами гидрометеорологической службы. Наблюдательная сеть на начало 2004 г. состояла из 1851 станции и 3082 постов [1]. В настоящее время число действующих станций, проводящих мониторинг болотных угодий России, сильно сократилось. Актуальный и качественный картографический материал практически отсутствует. Проводятся натурные точечные исследования, но экстраполяция их результатов не позволяет сделать объективные выводы об общем состоянии территории и динамике процессов заболачивания, поэтому в настоящее время перспективным направ-

лением является проведение исследований заболоченных территорий и создание актуального и достоверного картографического материала с помощью геоинформационных технологий (ГИС-технологий) и современных методов обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Материалы ДДЗ имеют огромное значение в таких исследованиях, так как отличаются большой обзорностью и высоким разрешением на местности и позволяют в короткий срок изучать и картографировать значительные по площади территории. Программа Landsat предоставляет самую длинную временную линейку космических снимков Земли со схожими спектральными характеристиками

и разрешением, что дает нам возможность сравнивать их и наблюдать за динамикой изменений территории во времени, получать повторные снимки и изучать труднодоступные территории, такие как болота, которые так же, как и леса, луга, степи, озера, являются неотъемлемыми компонентами природы и представляют собой ценные природные объекты. Нарушение природного баланса болот, питающих реки, может привести к значительным изменениям на огромных территориях и к потере биологического разнообразия.

Цель – изучить возможность использования существующего картографического материала (топокарты) в исследованиях заболоченности территории, а также оценить общее направление динамики заболачивания земель с помощью ГИС-технологий.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования является Убинский район Новосибирской области (рис. 1). В геоморфологическом плане район исследования расположен в Барабинской низменности, на границе двух природных зон: северной лесостепной подзоны и подтаежной зоны, и таким образом данная территория объединяет несколько типов болот. На севере район представлен заболоченной лесистой равниной с гривами высотой 2–5 м и межгривными понижениями – это южная часть Васюганского болота. Типичны для зоны выпуклые грядово-мочажинные сфагновые болота, наиболее значительные площади занимают рямы (верховые болота), хорошо развиты долинные комплексы

с осоково-гипновыми болотами и заболоченными хвойными лесами – сограми. Рельеф южной части района представляет собой равнину с четко выраженными гривами, высота этих грив достигает 5–10 м, с балками и лощинами [2]. В лесостепи Западной Сибири наибольшего распространения достигают вогнутые евтрофные, засоленные, тростниковые, крупноосоковые и травяные болота. Рямы в этой зоне встречаются редко, так как здесь они находятся на границе своего ареала распространения и не образуют значительных по площади болотных массивов, а представлены в ландшафте в виде отдельных небольших островков.

Эффективность географических исследований значительно повышается, если их совмещать с картографическими методами [3]. Поэтому для территории Убинского района нами была подробно оцифрована топографическая карта ГосГисЦентра (ГГЦ) 2001 г. масштаба 1:100 000 [4], с помощью программного продукта MapInfo Professional 8.5 (рис. 1, б). Данные, полученные с карты, сравнивались с официальными данными Росреестра, после чего карта была сопоставлена с космическим снимком Landsat и проанализирована.

Для тематического картографирования изучаемой местности использовались различные снимки мультиспектральных спутниковых снимки Landsat с пространственным разрешением 30 м на пиксель, имеющие минимальный облачный покров и атмосферную дымку (табл. 1). Эти снимки предоставляет геологическая служба США (USGS) [5].

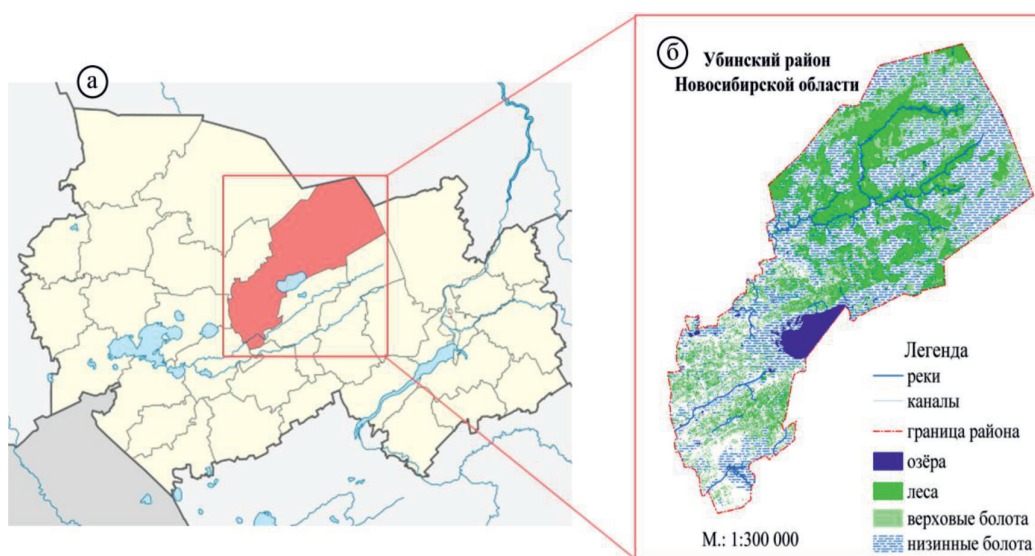


Рис. 1. Схема расположения объекта исследования: а) карта административного деления Новосибирской области, б) электронная топографическая карта Убинского района

Обработка космических снимков производилась в программном комплексе ENVI 4.4 [6]. Эксперимент распознавания болот на снимке проводился на примере одной сцены, покрытие снимка Path 151 & Row 21, этот снимок покрывает 85% всей территории Убинского района. К снимкам применялись неуправляемые и управляемые классификации. Для управляемых классификаций был создан массив спектральных образцов, состоящий из 291 полигона и семи категорий, который применялся к обоим снимкам. Для всех классификаций была проведена визуальная оценка соответствия полученного изображения с данными со снимка, так как каждый алгоритм имеет свои особенности деления изображения на кластеры, в этом случае и самих классификаций, и, соответственно, моделей на одну и ту же территорию может быть построено множество [7]. Испытав все предлагаемые программой алгоритмы, мы остановились на способе максимального правдоподобия (Maximum likelihood). Классификация, созданная с помощью этого алгоритма, наиболее точно выделяет объекты нашего исследования – болота.

**Результаты исследования и их обсуждение**

При оцифровке топографических карт возникла проблема, которая заключалась в том, что условный знак, обозначающий болота, присутствовал на всех категориях объектов, нанесенных на карту, не имея при этом контуров, из-за чего уже на данном этапе возникает ошибка при переходе к работе с площадями. С помощью MapInfo

Professional 8.5 были получены значения площадей всех категорий, присутствующих на карте. Эти данные сравнивались с официальными (табл. 2), которые отражены в докладе управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии «О состоянии и использовании земель Новосибирской области» за 2010 год [1]. Согласно табл. 2, площади таких категорий, как болота и прочие земли, разнятся на 6–10%. Во-первых, это можно связать с тем, что топографические карты, которые были взяты за основу, устарели (так как были созданы около 30 лет назад) или могла измениться площадь, занятая болотами. Впрочем, конечный результат находится в пределах картографической ошибки и составляет менее 10%.

Наложение полученной карты на спутниковый снимок показало, что данный картографический материал не подходит для изучения болотных экосистем, так как контуры болот, выделяемые на карте, не соответствуют данным снимка. Так называемые ложбины стока или транзитные топи на данной карте не выделяются, хотя эти участки являются зонами прогрессивного заболачивания [8], и для данного исследования они являются одним из важнейших источников информации.

Работа со снимками в нашем исследовании дает более полную и достоверную информацию о заболоченности территории. В результате обработки космических снимков Landsat в полнофункциональном программном комплексе ENVI 4.4 были получены две тематические разновременные карты (рис. 2) площадью равной 2,2 млн га.

**Таблица 1**

Характеристика используемых спутниковых снимков

Спутник	Покрытие	Время съемки	Облачность
Landsat 7 ETM+	Path 151, Row 21	Май 2017	Отсутствует
Landsat 5 TM	Path 151, Row 21	Июнь 1993	Отсутствует

**Таблица 2**

Сводная таблица полученных и официальных данных

Наименование	Данные электронной карты		Данные доклада о состоянии земель за 2010 г.	
	Площадь, га	% от общей площади района	Площадь, га	% от общей площади района
Общая площадь р-на	1 406640	100	1 386937	100
Лесные земли	386 800	27,5	425 493	30,7
Болота	727 268	51,7	588 029	42,4
Под водой	40 000	2,8	40 243	2,9
Прочие	252 572	18,0	332 973	24,0



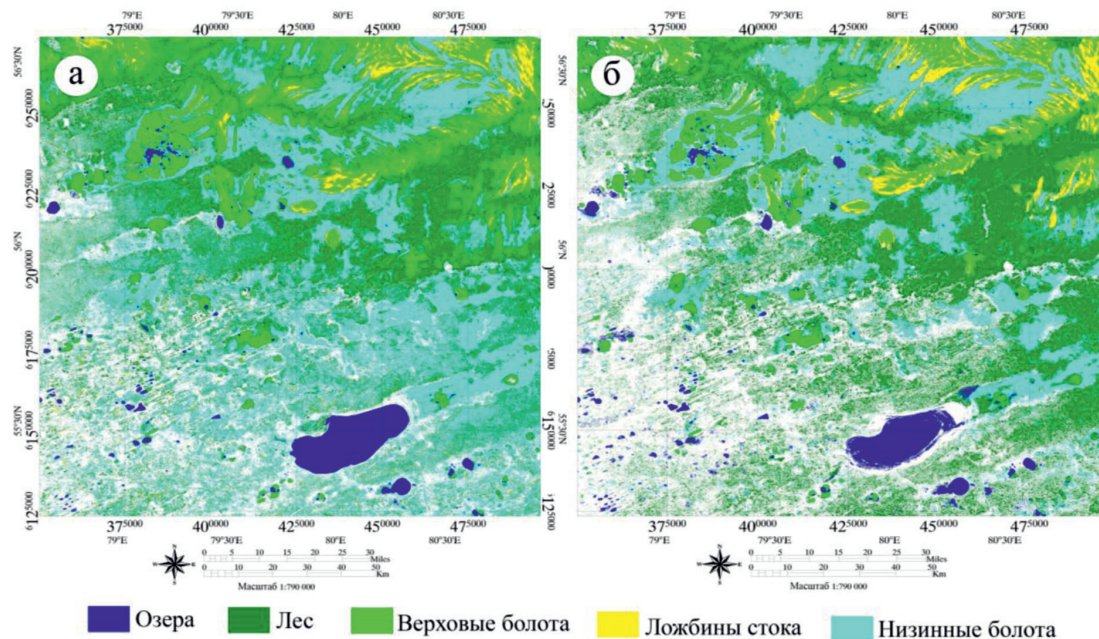


Рис. 2. Карта заболоченности, полученная со снимка: а) 1993 г., б) 2017 г.

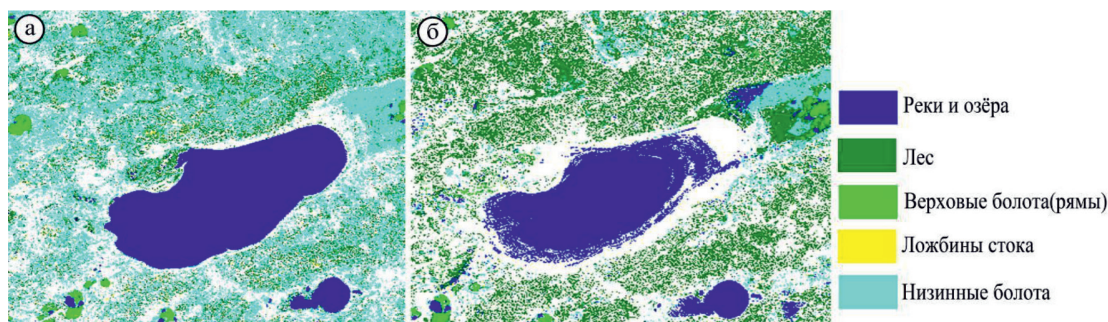


Рис. 3. Убинское озеро. Фрагмент Карты заболоченности: а) 1993 г., б) 2017 г.

За последние 24 года данная территория подверглась серьёзным изменениям (рис. 2). На севере уровень заболоченности территории увеличился. Заболоченность таежной зоны растёт, и об этом говорит увеличение площадей ложбин стока, которые являются индикаторами прогрессивного заболачивания, с 61,3 тыс. га в 1993 г. до 82,9 тыс. га в 2017 г., и связано это обычно с естественными процессами. Заболачивание развивается прогрессивно при постоянном избыточном обводнении периферии болотного массива, которое обеспечивается равнинным рельефом и тяжёлым гранулометрическим составом почв, который определяет низкую фильтрационную способность подстилающей поверхности. Дальнейшего расширения площадей болот следует ожидать за счёт смежных лесных

и болотно-лесных массивов [8]. В южной же части заметна следующая тенденция: некогда заболоченные земли практически исчезли, теперь на их месте – леса, луга или сельскохозяйственные угодья. Это может быть связано с работами по мелиорации, климатическими изменениями или какими-то другими факторами.

Изменилось и Убинское озеро (рис. 3), его площадь уменьшилась на 11,9 тыс. га, что составляет 13,6% от общей площади озера, общая площадь заболоченных земель вокруг озера сократилась до минимума (их почти не осталось), а прилегающая территория постепенно зарастает лесом.

Согласно полученным картам, за последние 24 года, несмотря на то, что территория подвергалась осушению, рямы лесостепной зоны Западной Сибири визуально

практически не изменились (ни их площади, ни количество озер или озерков болотных комплексов). Мы можем отметить только увеличение площади лесов, особенно по периферии (рис. 4).

Кардинальные изменения произошли только на Бородинском ряме (рис. 5). По карте трудно сказать, что послужило причиной этих изменений, поэтому мы снова обратились к космическому снимку (рис. 5, в). Согласно снимку, Бородинский рям недавно горел и выгорела достаточно большая площадь (76 га). Программа ошибочно отнесла выгоревшую территорию к классам, наиболее подходящим по спектральным характеристикам, поэтому всегда необходимо проводить экспертный анализ получившейся карты.

Получение актуального картографического материала о состоянии заболоченных земель представляет важность не только с научной точки зрения, но также имеет большое практическое значение для принятия своевременных управленческих решений с целью сохранения природной среды и возможности дальнейшего устойчивого развития региона. Так, например, для островных рямов, расположенных вблизи населенных пунктов и подверженных антропогенному влиянию (пожары, вырубки, разработки торфа и т.п.), реальной является опасность полного уничтожения из-за включения их местными ведомствами в сырьевую базу торфопредприятий с последующим их осушением, уничтожением растительности и добычей торфа [9].

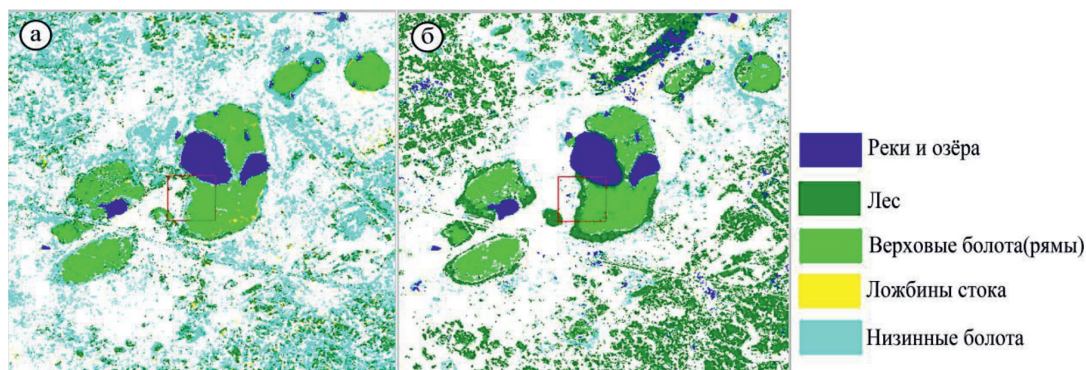


Рис. 4. Урочище Убинский рям. Фрагмент карты заболоченности: а) 1993 г., б) 2017 г.

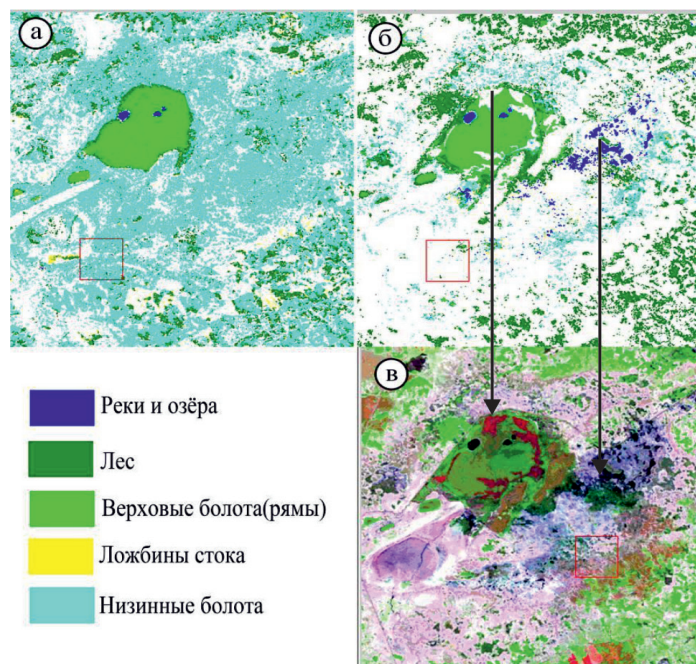


Рис. 5. Урочище Бородинский рям. Фрагмент карты заболоченности: а) 1993 г., б) 2017 г., в) фрагмент снимка Landsat за 2017 г.



### Заключение

Исследование показало, что существующие топографические карты ГосГисЦентра 1:100 000 масштаба непригодны для исследования болот и оценки их временной динамики. Следовательно, необходимы другие материалы и методы.

Заболоченные территории являются изменчивыми во времени и пространстве, поэтому спутниковая информация имеет хорошие перспективы при проведении таких исследований. По созданным в программном комплексе ENVI на основе космических снимков Landsat двум разновременным тематическим картам, можно как сделать выводы об общей динамике заболачивания территории, так и получить сведения об изменениях их структуры и состояния. Также с помощью этих карт хорошо выделяются верховые болота лесостепной зоны, состояние которых представляет наибольший научный интерес.

Согласно полученным картам, общая тенденция процессов заболачивания такова: в южной части исследуемой территории идут процессы разболачивания, т.е. осушается, а в северной части, наоборот, наблюдается увеличение заболоченности территории.

Предлагаемый подход обработки космических снимков достаточно прост и позволяет в короткий срок изучать и картографировать значительные по площади территории, к тому же есть возможность

использовать результаты дешифрирования в расчетах и прогнозах.

*Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.*

### Список литературы

1. Доклад управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Новосибирской области «О состоянии и использовании земель Новосибирской области в 2010 году». Новосибирск, 2011. [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/78/422/27641.php> (дата обращения: 27.06.2019).
2. Кравцов В.М., Донукалова Р.П. География Новосибирской области. Новосибирск, 1999. 208 с.
3. Кошкарёв А.В. От компьютерной картографии к инфраструктурам пространственных данных: новая эпоха развития геоинформатики // Геоинформационное картографирование в географии и геоэкологии: сборник статей. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2010. С. 20–34.
4. Топографические карты ГГЦ [Электронный ресурс]. URL: <http://loadmap.net/ru/m86984> (дата обращения: 27.06.2019).
5. USGS science for a changing world: EarthExplorer [Electronic resource]. URL: <http://earthexplorer.usgs.gov> (date of access: 27.06.2019).
6. Satellite monitoring and geospatial solutions: Sovzond [Electronic resource]. URL: [https://sovzond.ru/products/software/#gis\\_solutions](https://sovzond.ru/products/software/#gis_solutions) (date of access: 27.06.2019).
7. Махатков И.Д. Непрерывное пространственное моделирование обилия и встречаемости растений с использованием дистанционных спектральных переменных (северная тайга Западной Сибири) // Вестник СГУГиТ. 2016. Вып. 3 (35). С. 219–256.
8. Перегон А.М. Периферическое заболачивание на юге таёжной зоны Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2005. 19 с.
9. Валуцкий В.И. Растительность лесостепных районов в Восточной Барабе // Turczaninowia. 2011. Т. 14. № 1. С. 109–119.



УДК 612.6:612.017.2:612.13-053.5-055.2

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И АДАПТАЦИОННЫЕ РЕЗЕРВЫ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ДЕВОЧЕК 7–15 ЛЕТ

Тятенкова Н.Н., Кузьмичева А.П., Митягова А.А.

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», Ярославль,  
e-mail: tyat@bk.ru

Проведено обследование 1213 девочек 7–15 лет, проживающих в г. Ярославле. По общепринятым методам регистрировали основные антропометрические и функциональные показатели, рассчитывали индекс Кердо, индекс Руфье и адаптационный потенциал. Исследование выявило, что с возрастом функциональные и адаптационные резервы системы кровообращения школьниц снижаются. Показано, что наиболее существенные изменения приходились на первый и пятый годы обучения. У девочек 7–10 лет функциональные резервы системы кровообращения оценивались как высокие, в 11–14 лет – средние, в 15 лет – низкие. Возрастная динамика заключалась в увеличении доли девочек с низкими резервами и снижении частоты встречаемости лиц с высокими резервами системы кровообращения. Индивидуальная оценка показала, что наибольшее количество лиц с высокими резервами сердечно-сосудистой системы отмечено среди девочек 10 лет. Отмечено увеличение средних значений адаптационного потенциала с 1,52 у девочек 7 лет до 1,92 в 15 лет, что свидетельствовало о снижении адаптационных возможностей организма. С возрастом увеличивалась доля девочек с напряжением механизмов адаптации. Во всех возрастных группах (за исключением 10-летних) преобладали девочки-симпатотоники.

**Ключевые слова:** школьницы, система кровообращения, адаптационный потенциал, функциональные резервы, частота сердечных сокращений, артериальное давление

## FUNCTIONAL AND ADAPTIVE RESERVES OF CIRCULATORY SYSTEM OF GIRLS AGED 7 TO 15

Tyatenkova N.N., Kuzmicheva A.P., Mityagova A.A.

P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, e-mail: tyat@bk.ru

The survey was done among 1213 girls aged 7 to 15 living in Yaroslavl. Basic anthropometric and functional parameters were registered by conventional methods, Kredo index, Rufe index, and adaptation potential were calculated. The research revealed that functional and adaptive reserves of the circulatory system of schoolgirls reduce with age. The most significant changes were observed in the first and fifth grades. The functional reserves of the circulatory system of girls aged 7 to 10 were estimated as high, of girls aged 11 to 14 as medium, aged 15 – as low. The age dynamics was in the increase of the proportion of girls with low reserves and the decrease in the number of persons with high reserves of the circulatory system. Individual assessment showed the highest number of persons with high reserves of the cardiovascular system among girls aged 10. There was an increase of the average levels of adaptive capacity from 1,52 among the girls aged 7 to 1,92 among the girls aged 15, which indicated a decrease of the adaptive capacity of the body. The number of girls with stressed mechanisms of adaptation increased with age. In all age groups (except the girls aged 10) sympathotonic girls prevailed.

**Keywords:** schoolgirl, circulatory system, adaptation potential, functional reserves, heart rate, blood pressure

Оценка состояния здоровья человека очень часто осуществляется с позиций приспособления организма к постоянно меняющимся условиям внешней среды. Эффективность приспособления, или адаптация, зависит от внутренних и внешних воздействий. Среди последних немаловажное значение отводится внутришкольным факторам. Поступление ребенка в школу или иное учебное заведение вызывает перестройку динамического стереотипа в физиологических процессах и для школьника является экстремальным фактором [1]. Поэтому изучение адаптационных и резервных возможностей растущего организма в период школьного обучения является одной из важнейших медико-биологических и социальных проблем.

При оценке состояния организма важная роль отводится сердечно-сосудистой систе-

ме, которая является индикатором адаптационных процессов. Гемодинамические показатели часто используются исследователями для оценки функционального состояния организма детей и подростков [2–4].

Цель исследования: изучение динамики функциональных и адаптационных возможностей организма школьников в период получения систематического образования.

### Материалы и методы исследования

Исследование проведено на школьницах, с рождения проживающих в г. Ярославле. Объем выборки составил 1213 девочек в возрасте от 7 до 15 лет. Обследования проводили в первой половине дня, в течение второй учебной четверти, после предварительного информированного согласия родителей, учитывая положения «Всеобщей декларации о биоэтике и правах человека».

В ходе работы измеряли длину тела (ДТ, см), массу тела (МТ, кг), частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), артериальное давление систолическое (АДС, мм рт. ст.) и диастолическое (АДД, мм рт. ст.). Оценку функционального состояния сердечно-сосудистой системы проводили с использованием индекса Руфье (ИР, усл. ед), который рассчитывали по формуле:  $ИР = (ЧСС \times АДС) / 100$ . Классификацию функциональных состояний осуществляли по следующей градации: высокие резервы функционального состояния сердечно-сосудистой системы ( $ИР \leq 80$ ), средние резервы функционального состояния ( $80 < ИР < 90$ ), низкие резервы функционального состояния ( $ИР \geq 90$ ). Адаптационный потенциал (АП, балл) системы кровообращения рассчитывали по формуле, предложенной Р.М. Баевским с сотрудниками [5]:

$$АП = 0,011 \times ЧСС + 0,014 \times АДС + 0,008 \times АДД + 0,014 \times В + 0,009 \times МТ - 0,009 \times Р - 0,27,$$

где В – возраст (в годах).

Адаптационные резервы системы кровообращения оценивали по величине АП. Согласно данным литературы [6], использование нормативных шкал АП взрослого населения не позволяет адекватно оценить на индивидуальном уровне состояние механизмов адаптации в предефинитивной фазе онтогенеза. В настоящей работе использовалась классификация, предложенная М.В. Антроповой с соавт. [6], согласно которой выделялись следующие категории: удовлетворительная адаптация ( $АП \leq 1,90$  балла), напряжение механизмов адаптации ( $1,91 \leq АП \leq 2,09$ ), неудовлетворительная адаптация ( $2,10 \leq АП \leq 2,28$ ), срыв адаптации ( $АП \geq 2,29$ ). Дополнительно производили оценку вегетативных влияний на функциональное состояние миокарда по расчетному индексу Кердо

(ВИК):  $ВИК = (1 - АДД/ЧСС) \times 100$ . Значение  $ВИК > 10\%$  свидетельствовало о преобладании симпатических влияний (симпатикотония), ниже  $-10\%$  – о преобладании парасимпатических влияний (ваготония), при равновесии вегетативной нервной системы (эйтония) значение ВИК находилось в пределах от  $-10\%$  до  $+10\%$ .

По результатам обследования создана персоналифицированная база данных. Статистическую обработку проводили при помощи пакета прикладных программ Microsoft Excel. Для изучаемых параметров рассчитывали среднее арифметическое (М), ошибку среднего (m). Для оценки достоверности различий использовали парный t-критерий Стьюдента.

### Результаты исследования и их обсуждение

Оценку функционального состояния организма детей и подростков проводили по показателям сердечно-сосудистой системы. Среднегрупповые значения артериального давления и частоты сердечных сокращений у обследованных школьников представлены в табл. 1.

Частота сердечных сокращений является объективным показателем функционального состояния организма. Согласно данным литературы [7], ЧСС с возрастом имеет тенденцию к уменьшению, однако среди ярославских школьников подобная закономерность не отмечена. Среднегрупповые значения ЧСС в течение всего периода наблюдений менялись неоднозначно. У девочек 7–9 лет данный показатель существенно не менялся, статистически значимое снижение отмечено в группе десятилетних девочек, однако в 11 лет показатель достоверно увеличился. В дальнейшем, наблюдалась слабо выраженная тенденция увеличения ЧСС.

Таблица 1

Средние значения показателей гемодинамики (М ± m)

Возраст, лет	ЧСС		АДС		АДД	
	уд/мин.	р-уровень	мм рт. ст.	р-уровень	мм рт. ст.	р-уровень
7	79,59 ± 2,59	P <sub>9-10</sub> < 0,001 P <sub>10-11</sub> < 0,001 P <sub>12-13</sub> < 0,01	89,14 ± 1,99	P <sub>7-8</sub> < 0,001 P <sub>9-10</sub> < 0,001 P <sub>11-12</sub> < 0,05 P <sub>12-13</sub> < 0,05 P <sub>13-14</sub> < 0,01	57,12 ± 2,27	P <sub>7-8</sub> < 0,05 P <sub>8-9</sub> < 0,05 P <sub>11-12</sub> < 0,001
8	80,38 ± 2,69		95,89 ± 1,64		60,82 ± 1,99	
9	78,78 ± 2,04		96,17 ± 1,87		64,22 ± 1,71	
10	70,64 ± 1,49		102,28 ± 2,39		63,87 ± 2,46	
11	79,24 ± 3,10		103,67 ± 2,85		64,71 ± 2,11	
12	81,78 ± 1,51		107,54 ± 1,20		68,72 ± 0,87	
13	83,80 ± 1,24		105,72 ± 1,19		68,15 ± 0,87	
14	82,64 ± 1,44		108,22 ± 1,42		68,62 ± 0,94	
15	84,22 ± 1,49		107,02 ± 1,32		68,83 ± 0,91	

Успешность адаптации детей к школьному режиму выражается в снижении частоты сердечных сокращений. У ярославских школьников такое снижение наблюдается только к началу 4-го класса. Переход из младшего звена в среднее сопровождался увеличением ЧСС. Высокие значения ЧСС свидетельствуют о преобладании симпатических влияний на миокард. Известно, что симпатический отдел автономной нервной системы обеспечивает экстренный режим работы сердечно-сосудистой системы и приводит к физиологической напряженности организма.

Артериальное давление является интегральным показателем возрастного развития организма. С возрастом наблюдалось увеличение АДС, наиболее выраженное в течение первого и третьего годов обучения. Статистически значимое увеличение АДД отмечено у девочек 7–12 лет.

Сердечно-сосудистая система находится под влиянием автономной нервной системы. Оценка вегетативных влияний проводили по расчетному индексу Кердо. В течение периода наблюдений среднегрупповые и индивидуальные значения ВИК менялись неоднозначно (табл. 2). Наиболее высокие значения индекса отмечались у девочек 7 лет. Согласно данным литературы [8], для детей первого года обучения характерными являются активация и преобладание симпатического отдела вегетативной нервной системы с сопутствующими процессами диссимилиации.

К началу 4 года обучения (школьницы 10 лет) среднегрупповые значения ВИК резко уменьшились, при этом доля школьников с эйтоническим типом регуляции увеличилась на 20,6%. Снижение симпатических влияний к началу 4-го класса можно

рассматривать как формирование приспособительной реакции. При переходе в 5-й класс средние значения ВИК достоверно увеличились, при этом возросла доля девочек с преобладанием симпатической регуляции. Высокие значения ВИК сохранялись у школьниц 11–15 лет, что свидетельствовало о наличии у детей стресса и чрезмерной физиологической мобильности организма.

Уровень функциональных резервов сердечно-сосудистой системы определяли по индексу Руфье. С возрастом наблюдалось снижение функциональных резервов системы кровообращения (табл. 3). Среднегрупповые значения индекса Руфье у школьниц 7–10 лет соответствовали высоким функциональным резервам, в 11–14 лет – средним и у 15-летних девушек – низким. Индивидуальная оценка показала, что в начальной школе (7–11 лет) доля девочек с высокими функциональными резервами постепенно увеличивалась, а в дальнейшем наблюдалась устойчивая тенденция к снижению таковых. Следует отметить, что при переходе в 5-й класс (11 лет) резко возросла доля девочек с низкими функциональными резервами.

В течение всего периода наблюдения отмечено увеличение средних значений АП с 1,52 до 1,92 балла (табл. 4), что свидетельствовало о снижении адаптационных возможностей организма. При этом у школьниц 7–13 лет среднегрупповые значения АП соответствовали удовлетворительному уровню адаптации, а в 14–15 лет характеризовались напряжением механизмов адаптации. Подобная динамика отмечалась другими исследователями [9] и объясняется увеличивающимся объемом учебных нагрузок, снижением двигательной активности школьников.

**Таблица 2**

Средние значения вегетативного индекса Кердо и распределение школьниц в зависимости от типа вегетативной регуляции

Возраст, лет	ВИК, балл	p-уровень	Тип регуляции (доля обследованных, %)		
			Симпатикотония	Ваготония	Эйтония
7	27,10 ± 3,74	P <sub>8-9</sub> < 0,05 P <sub>9-10</sub> < 0,01 P <sub>10-11</sub> < 0,05 P <sub>12-13</sub> < 0,05	86,4	1,5	12,1
8	22,93 ± 3,59		86,3	6,1	7,6
9	17,09 ± 3,89		64,1	7,8	28,1
10	9,24 ± 3,87		46,2	5,1	48,7
11	16,37 ± 3,95		61,5	7,1	31,4
12	14,03 ± 1,98		62,1	5,4	32,5
13	17,46 ± 1,72		72,8	2,6	24,6
14	15,43 ± 1,89		72,9	6,7	20,4
15	16,99 ± 1,76		77,6	2,9	19,5

Таблица 3

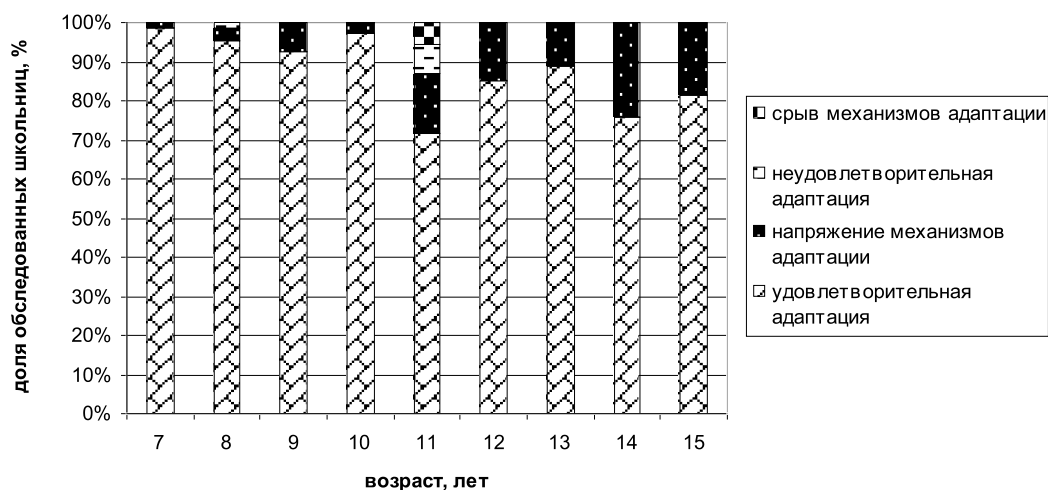
Средние значения индекса Руфье и распределение школьников в зависимости от уровня функционального состояния

Возраст, лет	ИР, балл	Р-уровень	Функциональное состояние (доля обследованных, %)		
			Высокие резервы	Средние резервы	Низкие резервы
7	71,1 ± 3,02	$P_{7-8} < 0,01$ $P_{9-10} < 0,05$ $P_{10-11} < 0,001$ $P_{11-12} < 0,05$	72,7	22,7	4,6
8	77,0 ± 2,77		60,6	34,9	4,5
9	75,7 ± 2,39		74,2	19,7	6,1
10	72,3 ± 2,34		87,1	10,3	2,6
11	82,4 ± 4,30		52,8	18,6	28,6
12	88,0 ± 1,91		37,8	24,3	37,9
13	88,6 ± 1,64		29,8	28,1	42,1
14	89,5 ± 2,02		29,8	24,0	46,2
15	90,2 ± 1,97		23,9	32,7	43,4

Таблица 4

Средние значения адаптационного потенциала у школьников 7–15 лет

Возраст, лет	Средние значения АП	Функциональное состояние	р-уровень
7	1,52 ± 0,06	Удовлетворительная адаптация	$P_{7-8} < 0,001$ $P_{10-11} < 0,001$ $P_{11-12} < 0,001$ $P_{13-14} < 0,01$
8	1,64 ± 0,05	Удовлетворительная адаптация	
9	1,64 ± 0,04	Удовлетворительная адаптация	
10	1,62 ± 0,05	Удовлетворительная адаптация	
11	1,75 ± 0,07	Удовлетворительная адаптация	
12	1,88 ± 0,03	Удовлетворительная адаптация	
13	1,87 ± 0,03	Удовлетворительная адаптация	
14	1,92 ± 0,03	Напряжение механизмов адаптации	
15	1,92 ± 0,03	Напряжение механизмов адаптации	



Распределение школьников в зависимости от функционального состояния (доля обследованных, %)

Наиболее существенное увеличение АП отмечено в течение 1, 4 и 5 годов обучения в школе. Первый год обучения в школе является для ребенка самым трудным. Процесс адаптации протекает медленно и слож-

но. Увеличение АП, сопровождающееся ухудшением адаптационных резервов организма, у школьников 4 и 5 классов связано, очевидно, с переходом из младшего звена школы в среднее, сопровождающееся изме-

нением микросоциальных условий, эмоциональным стрессом.

Индивидуальная оценка АП показала, что с возрастом увеличилась доля девочек с напряжением механизмов адаптации с 1,5% в первом классе до 18,5% в 9 классе. В 5-м классе отмечены школьницы с неудовлетворительной адаптацией и срывом механизмов адаптации (рисунок).

Таким образом, с возрастом функциональные возможности и адаптационные резервы сердечно-сосудистой системы девочек 7–15 лет развиваются неравномерно.

#### Заключение

Исследование позволило выявить динамику функциональных и адаптационных резервов организма школьниц. Пики изменений приходились на первый и пятый годы обучения. У девочек 7–10 лет функциональные резервы системы кровообращения оценивались как высокие, в 11–14 лет – средние, в 15 лет – низкие. Возрастная динамика заключалась в увеличении доли девочек с низкими резервами и снижении частоты встречаемости лиц с высокими резервами системы кровообращения. Индивидуальная оценка показала, что наибольшее количество лиц с высокими резервами сердечно-сосудистой системы отмечено среди девочек 10 лет. С возрастом наблюдается увеличение средних значений адаптационного потенциала, что свидетельствует о снижении адаптационных возможностей организма, при этом

увеличивалась доля девочек с напряженным механизмом адаптации.

#### Список литературы

1. Григорьев К.И. Реакции адаптации у детей и их значение в клинической практике // Фельдшер и акушерка. 1979. № 9. С. 13–16.
2. Анропова М.В., Параничева Т.М., Манке Г.Г., Тюрина Е.В. Здоровье и функциональное состояние сердечно-сосудистой системы школьников 10–11 лет // Новые исследования. 2009. Т. 1. № 20. С. 15–25.
3. Димитриев Д.А., Димитриев, Карпенко Ю.Д. Возрастные особенности функционального состояния сердечно-сосудистой системы у школьников // Физиология и культура. 2011. № 2 (24). С. 42–46.
4. Новикова Е.И. Возрастное развитие функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы подростков // Электронный научно-образовательный журнал ВГПУ «Грани познания». 2011. № 3 (13). С. 1–4.
5. Баевский Р.М., Берсенева А.П., Вакулин В.К., Палеев Н.Р., Хвастунов Р.М. Оценка эффективности профилактических мероприятий на основе измерения адаптационного потенциала системы кровообращения // Здоровоохранение Российской Федерации. 1987. № 8. С. 6–10.
6. Анропова М.В., Бородин Г.В., Кузнецова Л.М., Манке Г.Г., Параничева Т.М. Прогностическая значимость адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы у детей 10–11 лет // Физиология человека. 2000. Т. 26. № 1. С. 56–61.
7. Грицинская В.Л., Санчат Н.О., Ермошкина А.Ю. Функциональные и адаптивные резервы школьников республики Тыва // Мать и дитя в Кузбассе. 2013. № 1 (52). С. 27–30.
8. Порецкова Г.Ю., Печкуров Д.В., Емелина А.А. Некоторые функциональные особенности школьников в период адаптации к обучению // Медицинский альманах. 2012. № 5 (24). С. 131–134.
9. Максимова Е.В., Максимов С.А., Куракин М.С., Зинчук С.Ф., Воздвиженская К.С. Донзологическая характеристика состояния здоровья школьников в зависимости от уровня урбанизации места проживания // Медицина в Кузбассе. 2009. № 4 (15). С. 37–40.



УДК 574.635:628.35.034.2

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСОРЦИУМОВ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ПРОЦЕСС ПЕРЕРАБОТКИ ОБЕЗВОЖЕННЫХ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ

Хасенова Э.Ж., Сембаев К.Д., Молдагулова Э.Б., Нагызбеккызы Э.,  
Сарсенова А.С., Дуамбеков М.С.

Учреждение «Международная академия экологии», Нур-Султан, e-mail: [elmira\\_alta@mail.ru](mailto:elmira_alta@mail.ru)

В статье представлены данные исследований по изучению влияния консорциумов микроорганизмов на процесс переработки обезвоженных иловых осадков методом твердофазной ферментации. Были составлены два консорциума микроорганизмов из различных таксономических групп. Опыты были заложены на территории поселка Балкарагай, Акмолинская область, на иловых осадках, транспортированных с разных регионов. Иловые массы были отобраны с очистных станций «Водные ресурсы маркетинг» (г. Талдыкорган), «Караганды су» (г. Караганды), «Жетысу су» (г. Шымкент). В результате проведенного эксперимента было установлено, что консорциум № 2 способен к ферментации илов сточных вод. К концу эксперимента переработанные иловые осадки представляли собой массу темного цвета, с отсутствием аммиачного запаха, рыхлой консистенции. В иловых массах после применения консорциума № 1 наблюдалось наличие неприятного запаха, так как ферментация прошла менее активно. Отмечается, что применение консорциума микроорганизмов позволяет ускорить процесс ферментации иловых осадков, что способствует быстрой переработке отходов для получения органического удобрения. В процессе компостирования микроорганизмы, входящие в состав консорциумов, за счет своей высокой ферментативной активности подавляют патогенную микрофлору, рост и развитие личинок, снижается содержание концентрации сероводорода и меркаптанов.

**Ключевые слова:** микроорганизмы, осадки сточных вод, компостирование, твердофазная ферментация, консорциум

## STUDYING THE EFFECT OF CONSORTIUMS OF MICROORGANISMS ON THE PROCESS OF PROCESSING OF WASTE-WARMED SILVER DEPOSITS BY SOLID PHASE ENZYMATON

Khasenova E.Zh., Sembaev K.D., Moldagulova E.B., Nagyzbekkyzy E.,  
Sarsenova A.S., Duambekov M.S.

Establishment «International academy of ecology», Nur-Sultan, e-mail: [elmira\\_alta@mail.ru](mailto:elmira_alta@mail.ru)

The article presents research data on the study of the effect of consortia of microorganisms on the processing of dehydrated sludge sediment by solid phase fermentation. Two consortiums of microorganisms from different taxonomic groups were compiled. The experiments were laid on the territory of the village Balkaragay, Akmola region on the sludge transported from different regions. Silt masses were selected from the Water Resources Marketing wastewater treatment plants in Taldykorgan, Karagandy Su in Karaganda, Zhetysu Su in Shymkent. As a result of the experiment, it was found that consortium No. 2 is capable of fermenting sewage sludge. By the end of the experiment, the processed sludge was a mass of dark color, with the absence of ammonia smell, friable consistency. After the application of consortium No. 1, an unpleasant odor was observed in the sludge masses, since fermentation was less active. It is noted that the use of a consortium of microorganisms allows to accelerate the process of fermentation of sludge sediments, which contributes to the rapid processing of waste to obtain organic fertilizer. In the process of composting, the microorganisms that make up the consortia, due to their high enzymatic activity, suppress the pathogenic microflora, the growth and development of the larvae occur, the content of hydrogen sulfide and mercaptans decreases.

**Keywords:** microorganisms, sewage sludge, composting, solid phase fermentation, consortium

Применение различных ЭМ-микроорганизмов в процессе компостирования открывает перспективы для получения качественного органического удобрения на основе осадков сточных вод. Способность микроорганизмов и их ферментов разлагать сложные органические вещества, трансформировать природные и антропогенные полимеры лежит в основе получения многих полезных продуктов микробиологического синтеза и переработки отходов. Процесс компостирования можно существенно ускорить, используя специальные микробные препараты. Компостирование обезвоженных осадков сточных вод методом твердофазной

аэробной ферментации позволяет получить из них удобрение высокого качества. В процессе биоферментации происходит бактериальное обеззараживание осадка [1].

Осадки городских сточных вод обладают высокой удобрительной ценностью, так как на 40% состоят из гумусовых веществ и их предшественников и содержат все необходимые для формирования почвы вещества [2, 3]. В компосте, включающем осадки сточных вод, содержится огромное количество органических веществ, при разложении которых выделяется углекислый газ, необходимый для жизни растений. Эти вещества являются не только источником питания культур, но

и источником биологических активаторов почвенных процессов, стимулируют развитие и деятельность почвенных микроорганизмов, которые играют большую роль в почвенном питании растений, устраняют отрицательное воздействие кислотности подзолистых и щелочности засоленных почв [4].

Компост на основе иловых осадков содержит все основные питательные вещества, необходимые для повышения урожайности земель, уступая навозу животноводческих комплексов лишь по содержанию калия. Введение в компост сырого осадка сточных вод повышает в нем содержание жиров, углеводов и продуктов их распада. Углеводы являются первичными продуктами фотосинтеза и основными исходными продуктами биосинтеза других веществ, а жиры являются структурными компонентами цитоплазмы клеток и выполняют различные функции [5, 6].

В процессе биокомпостирования осадков сточных вод органический материал проходит физические и химические преобразования с выходом стабильного гумифицированного конечного сырья. В отличие от переработанных осадков, данный продукт не нарушает состояние экосистемы, в которую его внесли.

Таким образом, сочетание процессов сбраживания с последующим компостированием методом твердофазной аэробной ферментации считается экономически наиболее перспективным направлением подготовки осадка сточных вод к его утилизации.

Целью исследования является изучение влияния консорциумов микроорганизмов на процесс ферментации обезвоженных иловых осадков.

#### Материалы и методы исследования

Консорциум № 1: *Pediococcus pentosaceus* KB, *Lactobacillus fermentum* T4, *Pediococcus acidilactici* ЭК8, *Pseudomonas lundensis* ЭИ4, *Bacillus mojavensis* ЭИ1К, *Bacillus fusiformis* ЭИ14, *Bacillus amyloliquefaciens* ЭИ15, *Ochrobactrum sp.* ЭИРs, *Enterobacter cloacae* П-1-3, *Lactobacillus paracasei* И5, *Bacillus subtilis* С20, *Bacillus clausii* ЭЖ.

Консорциум № 2: *Pediococcus pentosaceus* KB, *Lactobacillus fermentum* T4, *Pediococcus acidilactici* ЭК8, *Torulopsis sphaerica* 40, *Torulopsis kefir* 41, *Pseudomonas lundensis* ЭИ4, *Bacillus mojavensis* ЭИ1К, *Bacillus fusiformis* ЭИ14, *Bacillus amyloliquefaciens* ЭИ15, *Bacillus pumilus* ЭИЗ, *Bacillus coagulans* П-1-5, *Ochrobactrum sp.* ЭИРs, *Enterobacter cloacae* П-1-3, *Bacillus clausii* ЭЖ, *Lactobacillus paracasei* И5, *Enterobacter sp.* П-1-2.

Питательные среды: МПБ, СПБ, MRS-1, Сабуро.

Культивирование бактерий осуществляли в колбах Эрленмейера объемом 250 мл с питательной средой в объеме 100 мл при температуре +30 °С, +37 °С, +50 °С в течение 24–48 ч. Все культуры на качалке при 150–180 об/мин. Молочнокислые бактерии культивировали на питательной среде MRS-1 в термостате.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Для изучения влияния консорциумов были составлены два вида консорциума микроорганизмов из различных таксономических групп.

В состав первого консорциума вошли 12 штаммов: *Pediococcus pentosaceus* KB, *Lactobacillus fermentum* T4, *Pediococcus acidilactici* ЭК8, *Pseudomonas lundensis* ЭИ4, *Bacillus mojavensis* ЭИ1К, *Bacillus fusiformis* ЭИ14, *Bacillus amyloliquefaciens* ЭИ15, *Ochrobactrum sp.* ЭИРs, *Enterobacter cloacae* П-1-3, *Lactobacillus paracasei* И5, *Bacillus subtilis* С20, *Bacillus clausii* ЭЖ.

Во второй консорциум внесли 16 штаммов: *Pediococcus pentosaceus* KB, *Lactobacillus fermentum* T4, *Pediococcus acidilactici* ЭК8, *Torulopsis sphaerica* 40, *Torulopsis kefir* 41, *Pseudomonas lundensis* ЭИ4, *Bacillus mojavensis* ЭИ1К, *Bacillus fusiformis* ЭИ14, *Bacillus amyloliquefaciens* ЭИ15, *Bacillus pumilus* ЭИЗ, *Bacillus coagulans* П-1-5, *Ochrobactrum sp.* ЭИРs, *Enterobacter cloacae* П-1-3, *Bacillus clausii* ЭЖ, *Lactobacillus paracasei* И5, *Enterobacter sp.* П-1-2.

Постановку опытов по переработке иловых осадков в органическое удобрение проводили с применением двух составленных консорциумов. Опыты были заложены на территории поселка Балкарагай, Акмолинская область, на иловых осадках, транспортированных с разных регионов. Иловые массы были отобраны с очистных станций «Водные ресурсы маркетинг» (г. Талдыкорган), «Караганды су» (г. Караганды), «Жетысу су» (г. Шымкент).

Иловые массы предварительно увлажняли до влажности 60%, так как для процесса ферментации осадков сточных вод оптимальное содержание влаги не должно превышать данной концентрации. Затем смешивали с отрубями. Подготовленную иловую массу обрабатывали консорциумами № 1 и № 2. Сформировали бурты, ежедневно проверяли температурный режим и фиксировали показания.

Начальная температура в сформированных буртах составила 19–23 °С. Температура окружающей среды в день закладки опытов – 14 °С.

В ходе ферментации температура в буртах постепенно поднималась. В буртах, где иловые массы были обработаны консорциумом № 1, наблюдалось менее активное протекание процесса компостирования. Тогда как в вариантах с применением консорциума № 2 отмечается повышение температуры после обработки одновременно во всех буртах уже на 3 сутки, происходило нагревание буртов, температура составляла 37–49,5 °С. Вели визуальное наблюдение за внешним видом буртов.

Потребляя органические отходы как пищевой субстрат, микроорганизмы размножаются, продуцируют органические соединения и энергию. На 5–6 сутки температура повысилась до 50 °С. Согласно литературным данным, оптимальной температурой для осуществления полного цикла микробиологического разложения компостной смеси на основе осадка сточных вод являются температуры 50–60 °С.

В процессе компостирования высокая температура в бурте позволяет уничтожить патогенную микрофлору, яйца гельминтов и личинки мух. При этом мезофильные микроорганизмы закономерно погибают, а активность термофильных микроорганизмов сохраняется, что ускоряет процесс компостирования.

По достижению максимальной температуры проводили ворошение иловых масс, тщательно перемешивали. В ходе испытаний наблюдалось постепенное изменение цвета и агрегатного состояния содержимого буртов и снижение аммиачного запаха.

Повторное ворошение и перемешивание компостных буртов производили через каждые три дня с целью насыщения кислородом компостной массы и активного испарения лишней влаги. В качестве контроля использовали необработанные иловые осадки.



*до обработки*



*после обработки*

*Рис. 1. Процесс переработки иловых осадков с очистных станций «Жетысу су» с применением консорциума № 2*



*до обработки*



*после обработки*

*Рис. 2. Процесс переработки иловых осадков с очистных станций «Қараганды су» с применением консорциума № 2*



Нами были проведены микробиологические исследования по наличию патогенной микрофлоры после обработки илов. Отмечается снижение численности патогенных микроорганизмов после обработки консорциумами в сравнении с начальным содержанием.

После проведения компостирования нами была определена фитотоксичность переработанных обезвоженных иловых осадков. Фитотоксичность изучали по прорастанию и всхожести семян кресс-салата. В качестве контроля использовали необработанную массу иловых осадков. Переработанная масса обезвоженных иловых осадков не проявляла токсичности и не оказывала негативного влияния на прорастание семян кресс салата.

После роста семян был произведен расчет процента всхожести. Всхожесть семян кресс-салата при обработке консорциумом № 1 составила 90%, и консорциумом № 2 составила 96%. В контрольных вариантах всхожесть кресс салата в среднем 15%.

Отмечается, что в результате проведенного эксперимента консорциум № 2 был способен к ферментации илов сточных вод лучше, чем консорциум № 1. К концу эксперимента переработанные иловые осадки представляли собой массу темного цвета, с отсутствием аммиачного запаха, рыхлой консистенции. В иловых массах после применения консорциума № 1 наблюдалось наличие неприятного запаха, так как ферментация прошла менее активно.

В результате проведенного опыта отмечается что консорциум № 2 проявил себя лучше, чем консорциум № 1. Неприятный запах значительно меньше, чем в контроле и другом варианте опыта, цвет изменился в темно-коричневый.

### Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что из составленных двух ассоциаций эффективных микроорганизмов к ферментации

илов сточных вод большую активность проявил консорциум № 2. После ферментации к концу эксперимента переработанные иловые осадки после обработки консорциумом представляли собой массу темного цвета, с отсутствием аммиачного запаха, рыхлой консистенции.

Установлено, что применение консорциума микроорганизмов позволяет ускорить процесс ферментации иловых осадков, что способствует быстрой переработке отходов для получения органического удобрения. В процессе компостирования микроорганизмы, входящие в состав консорциумов, за счет своей высокой ферментативной активности подавляют патогенную микрофлору, рост и развитие личинок, снижается содержание концентрации сероводорода и меркаптанов.

### Список литературы

1. Гуляева И.С., Дьяков М.С., Савинова Я.Н., Русаков В.А., Глушанкова И.С. Анализ и обоснование методов обезвреживания и утилизации осадков сточных вод биологических очистных сооружений // Вестник ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2. С. 18–32.
2. Гальченко С.В., Чердакова А.С. Обоснование использования осадка сточных вод городских очистных сооружений в качестве удобрения // Экологический вестник России. 2012. № 3. С. 30–34.
3. Фомина И.Г. Компостирование осадка сточных вод в лабораторных условиях с наполнителем из отходов табака и фасоли // Вестник ХНУ имени В.Н. Каразина, № 1104. Серия «Экология», 2014. вып. 10. С. 141–144.
4. Иванов В.А., Переведенцев С.В., Тыгер Л.М. Совершенствование технологии переработки органической части бишлама сточных вод ЖКХ // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 1. С. 1–13.
5. Рафикова Г.Ф., Столярова Е.А., Логинов О.Н. «БИОСЕПТИЛОН» И «БИОКОМПОСТ 21» – Продукты бытовой биотехнологии // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2–1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18123> (дата обращения: 16.07.2019).
6. Севостьянов С.М., Демин Д.В., Татаркин И.В. Компостирование обработанных аминокислотными реагентами осадков сточных вод // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3 (4). С. 1432–1435.

## ОБЗОРЫ

УДК 636.2:636.034

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННЫХ ГЕНОМНЫХ И ГЕННО-ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ****Бурсаков С.А., Ковальчук С.Н.***ФГБНУ «Центр экспериментальной эмбриологии и репродуктивных биотехнологий», Москва, e-mail: sergey@ceerb.ru*

В ближайшие десятилетия мир столкнется с вопросами перенаселения, выдвигая задачу интенсификации производства продуктов питания. Возможности повышения эффективности традиционных селекционных программ в области молочного животноводства ограничены продолжительностью генерационного интервала у крупного рогатого скота, поэтому приобретают актуальность концепции вмешательства человека на генетическом уровне. В области молочного животноводства быстрое наращивание производства молока и продуктов его переработки возможно с использованием новейших геномных и генно-инженерных технологий. Современные технологии и инструменты модификации генов и редактирования генома решают эти проблемы экономически выгодным способом. Их использование в молочном животноводстве, вместе со способностью создавать гораздо более продуктивные фенотипы при соответствующем управлении, может привести к устойчивому и быстрому улучшению генома и стабильному обеспечению растущих потребностей человека в будущем. Учитывая высокую эффективность и низкую себестоимость инструментов редактирования генома, в частности CRISPR / Cas9, можно предполагать получение в скотоводстве значительного количества генетически измененных животных в ближайшем будущем. Однако, только всесторонне оценивая позитивные и негативные стороны новых технологий, возможно полностью воспользоваться их преимуществами в животноводстве.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, *Bos taurus*, молочное скотоводство, геномные и генно-инженерные технологии, репродуктивные технологии

**SOME ASPECTS OF MODERN GENOMIC AND GENE-ENGINEERING TECHNOLOGIES IN DAIRY CATTLE****Bursakov S.A., Kovalchuk S.N.***Federal State Budget Scientific Institution Center of Experimental Embryology and Reproductive Biotechnologies, Moscow, e-mail: sergey@ceerb.ru*

In the coming decades, the world will face overpopulation issues, putting forward the task of intensifying food production. The possibilities of increasing the effectiveness of traditional breeding programs in the field of dairy farming are limited by the duration of the generation interval in cattle, and therefore the concept of human intervention at the genetic level is becoming relevant. In the field of dairy farming, a rapid increase in the production of milk and its products is possible using the latest genomic and genetic engineering technologies. Modern technologies and tools for gene modification and genome editing solve these problems in a cost-effective way. Their use in dairy farming, together with the ability to create much more productive phenotypes with appropriate management, can lead to sustainable and rapid improvement of the genome and the stable provision of growing human needs in the future. Considering the high efficiency and low cost of genome editing tools, in particular CRISPR / Cas9, it can be assumed that a significant number of genetically modified animals will be acquired in cattle breeding in the near future. However, only by comprehensively assessing the positive and negative aspects of new technologies is it possible to fully take advantage of them in animal husbandry.

**Keywords:** cattle, *Bos taurus*, dairy husbandry, genomic and gene-engineering technologies, reproductive technology

Молочные продукты являются одними из важных составляющих сбалансированного питания человека, источником незаменимых для организма веществ в наиболее эффективно усвояемой форме. В результате интенсивного экономического развития, сопровождаемого ростом населения и улучшением его благосостояния, а также изменениями в диетологии, происходит активный рост потребления молочной продукции. Производство молока, его стоимость и импорт постоянно растут в последние годы, особенно в Азии, Африке и Латинской Америке. По прогнозам экспертов (International Farm Comparison Network – IFCN), к 2030 г.

спрос на молоко и молочную продукцию в мире вырастет на 35%, или на 304 млн т. Прогнозируемый IFCN рост может быть обеспечен в том числе за счет России, уровень потребления молочной продукции в которой сейчас находится на достаточно низком уровне. В связи с этим очевидна важность развития молочного скотоводства как одной из приоритетных и перспективнейших отраслей экономики страны. Биологические ограничения в настоящее время пока еще не стали лимитирующими факторами ее развития, и потенциал для увеличения удоев все еще остается существенным [1]. Тем не менее быстрые и рассчитанные на перспек-

титу результаты в развитии отечественного агропромышленного комплекса могут быть достигнуты с помощью невозможных ранее вмешательств на генетическом уровне. Генетические улучшения включают изменения кодирующего генома крупного рогатого скота (КРС), а также микробиома, управление которыми, как ожидается, станет частью рутинного управления стадом [1].

Значительный вклад в улучшение генома КРС и в конечном итоге в управление процессом генетического совершенствования популяции (его продуктивности, здоровья, повышения фертильности, обеспечения продуктивного долголетия, сокращения расходов за счет уменьшения заболеваемости и снижения вероятности врожденных дефектов и других параметров), вносят развиваемые в настоящее время ускоренными темпами геномные и генно-инженерные технологии. Для достижения генетического улучшения популяции КРС необходима надежная оценка племенных и продуктивных качеств быков-производителей и маточно-поголовья, высокая степень наследования изменяемого признака и сокращение генерационного интервала, чему может способствовать использование технологий модификации генома и ускоренного воспроизводства КРС. Генно-инженерные и геномные технологии, направленные помимо повышения продуктивности молочного скота на улучшение его репродуктивной эффективности, остаются наряду с технологией трансплантации эмбрионов наиболее перспективными подходами, способными сыграть важнейшую роль в решении проблемы продовольственного снабжения населения [2, 3].

Примерами новых возможностей этих технологий могут служить уже имеющиеся результаты получения трансгенных животных, устойчивых к серьезным инфекционным заболеваниям за счет интегрирования в геном генных конструкций, связанных с усилением иммунитета, с улучшенными важнейшими хозяйственно ценными признаками, а также продуцентов биологически активных веществ [4–6]. Следует особо отметить, что практика применения геномных технологий найдет свое положительное отражение в процессе формирования высокопродуктивного поголовья КРС отечественной селекции.

Современные технологии и инструменты модификации генов и редактирования генома КРС имеют огромный экономический потенциал [7–9]. Однако крупномасштабные программы по разведению КРС достаточно сложны, поскольку для них требуется непрерывный отбор. Поэтому,

насколько это известно, пока не появилось долгосрочных программ разведения генетически модифицированных животных для производства продуктов питания [10]. Такие программы представляют интерес, даже если модифицирование генов или редактирование генома может улучшить один или несколько хозяйственно ценных признаков. Учитывая высокую эффективность и низкую себестоимость инструментов редактирования генома, в частности CRISPR/Cas9 [11], можно предполагать получение в ближайшем будущем популяций элитных молочных коров с измененными характеристиками.

В данном обзоре основное внимание сфокусировано на актуальных направлениях геномных и генно-инженерных технологий в молочном скотоводстве, направленных на улучшение на долгосрочной основе широкого спектра характеристик, для получения элитных животных с улучшенными генетическими свойствами [12–14].

Цель исследования: обзор перспективных направлений геномных и генно-инженерных технологий, которые могут быть востребованы в молочном скотоводстве в относительно краткосрочной перспективе.

#### *Генетические модификации*

Возможно выделить три уровня генетических изменений: (1) редактирование генома путем замены нескольких нуклеотидов на варианты, уже известные для данного вида; (2) использование векторов для передачи генетического материала для создания более обширных изменений внутри вида; (3) введение генетического материала другого вида.

Европейским органом по безопасности пищевых продуктов генетические модификации определяются как «генетические изменения животного, связанные с изменением его генетического материала путем добавления, изменения или удаления определенной последовательности ДНК, не встречающимся в природе способом. Оно имеет целью изменение конкретных характеристик животного или введение новой характеристики, такой как устойчивость к болезням или усиление роста» [15]. Получение трансгенного животного подразумевает введение последовательностей ДНК из другого организма с использованием генной инженерии, что ранее было невозможно осуществить методами традиционной селекции. Для генетической модификации, чтобы быть унаследованной, она должна присутствовать в гаметах и быть интегрированной в хромосому.

В случае геномного редактирования, никакая чужая ДНК не включается в геном, однако отсутствует консенсус относительно признания «генетически модифицированными» организмов с отредактированным геном [16, 17]. Подобные генетические изменения могут как иметь место, так и не случиться в естественных условиях у того же вида или породы.

#### *Генная инженерия*

Генная инженерия является инструментом для получения генетически модифицированных организмов с желательными признаками с использованием рекомбинантной ДНК [18]. Инструментами генной инженерии в животноводстве являются: пронуклеарная микроинъекция, характеризующаяся низкой эффективностью и случайной интеграцией ДНК в целевой геном [19], использование вирусных векторов [20] и пересадка ядер соматических клеток (SCNT) [21]. Несмотря на недостатки SCNT (проблема вынашивания, аномалии и низкое количество жизнеспособных потомков [22] и отсутствие истинных плюрипотентных клеток крупных домашних животных [23], использование SCNT и микроинъекции рекомбинантной ДНК в пронуклеус зиготы эмбрионов остаются основными методами создания генетически модифицированного скота [8].

Применение генной инженерии в молочном скотоводстве концентрируется в первую очередь вокруг изменения свойств молока с использованием известных генов для улучшения его состава и обеспечения здоровья вымени лактирующих коров, а также их устойчивости к заболеваниям, что благоприятно отражается в целом на жизнеспособности популяции [24].

Работа с КРС имеет дополнительные трудности из-за низкой эффективности воспроизводства и длительного периода беременности. Тем не менее, благодаря методам генной инженерии, уже были получены трансгенные линии КРС, экспрессирующие в молоке рекомбинантный человеческий лактоферрин [25]. Получены генетически модифицированные животные с измененным белковым составом молока, а именно с увеличенным содержанием бета- и альфа-казеинов [26]; с экспрессией лизоцима человека [27], со сниженным количеством бета-лактоглобулина [28]; с устойчивостью к маститу, вызываемому *Staphylococcus aureus*, за счет введения гена лизоцима (антибактериальной глицилглицин эндопептидазы) [24]. При этом генетическую модификацию животных с целью их использования в качестве биореакторов для

производства фармакологических препаратов осуществляют чаще, нежели для получения продуктов питания. Описание других успехов, достигнутых с использованием технологий генной инженерии КРС, можно найти в ряде обзоров [7, 29]. Использование генной инженерии в молочной промышленности может привести ко многим улучшениям, ранее невозможным при традиционных методах селекции.

Улучшение здоровья, устойчивость к инфекционным заболеваниям и увеличение продуктивности КРС, ограничение использования антибиотиков и уменьшение воздействия животноводства на окружающую среду являются одними из важнейших целей и перспектив использования генно-инженерных технологий в молочном скотоводстве [7].

Существующий в ряде стран запрет на использование генетически модифицированных животных и произведенных ими продуктов в связи с их воздействием на окружающую среду, проблема безопасности пищевых продуктов, неизвестность последствий предполагаемых изменений генома, этическими проблемами и общей готовностью общества остаются до сегодняшнего дня серьезными препятствиями, ограничивающими применение этой технологии в животноводстве.

#### *Редактирование генома*

Технология геномного редактирования представляет собой изменение генома организмов посредством адресного манипулирования нуклеотидными последовательностями генов для достижения целенаправленной модификации эндогенных генов или интеграции экзогенных генов, приводя к изменению их функционального статуса. Новая технология редактирования генома позволяет не только редактировать или «исправлять» нежелательные мутации, но также создавать новые аллельные варианты в геноме [30]. Она позволяет генерировать практически все типы мутаций, в результате которых животные могут получить новые характеристики, отсутствующие в естественных популяциях, а также значительно улучшить имеющиеся. Геномное редактирование отличается от генной инженерии тем, что не связано с использованием рекомбинантной ДНК и способствует использованию новым способом существующих вариаций внутри вида. Существующие параллели между традиционными методами отбора и геномным редактированием выражаются в увеличении частоты благоприятных аллелей у видов. Преимущества редактирования генов при этом проявляются в способности быстро и без ошибок



передавать соответствующие аллельные варианты генов, не полагаясь на случайную передачу благоприятных комбинаций аллелей.

Включение, удаление или перемещение фрагментов ДНК в геноме организма происходит с использованием специфически спроектированных, высокоэффективных эндонуклеаз, или «молекулярных ножниц». В настоящее время инструменты для редактирования генома включают ZFN (zinc finger nuclease – цинк-пальцевые нуклеазы), TALEN (Transcription activator-like effector nucleases – эффекторные нуклеазы, подобные активаторам транскрипции) и CRISPR/Cas9 (Clustered Regulatory Interspaced Short Palindromic Repeats – сгруппированные короткие промежуточные палиндромные повторы, разделенные промежутками и ассоциированные с нуклеазой Cas9) [31–33], которые успешно применяются для изменения геномов растений и животных. TALE – это белки протеобактерии рода *Xanthomonas* используемые для подавления транскрипционной активности в клетках растений-хозяев, состоящий из множества ДНК-связывающих компонентов, способных к взаимодействию лишь с одним основанием ДНК в соотношении 1:1. Это свойство было использовано для создания комплексов, способных связывать практически любую последовательность в геноме. Аналогично ZFN, комплекс TALE сливается с нуклеазой FokI для получения TALEN, тем самым обеспечивая димеризацию FokI для целенаправленного разрезания ДНК. TALEN более широко используются в исследованиях в животноводстве, чем ZFN, в основном из-за их относительной простоты проектирования и синтеза [34, 35]. Cas9 позволяет расщеплять практически любую нуклеотидную последовательность, комплементарную направляющей РНК, но в отличие от TALEN и ZFN, ее избирательность является следствием комплементарности направляющей РНК и ДНК, а не модификации самого белка. Поэтому для новых ДНК-мишеней возможна выработка специфических Cas9 [36].

Все эти современные инструменты редактирования геномов позволяют осуществлять сайт-специфичные разрывы двухцепочечной ДНК генома в нужном месте, после чего система репарации ДНК восстанавливает эти двухцепочечные разрывы путем негомологичного соединения концов (NHEJ – Non-homologous end joining) или гомологичной рекомбинации (HDR – homology directed repair), что позволяет получать направленные мутации [37]. NHEJ – это путь восстановления ДНК в клетках, который соединяет разорванные

концы непосредственно без участия гомологичной матрицы. Во время процесса восстановления путем NHEJ происходит удаление или вставка нуклеотидов, что приводит вследствие этого к ошибкам, связанным со сдвигом рамки считывания. Таким образом, с помощью NHEJ с вовлечением нуклеазы может быть получен нокаут целевого гена [38]. В противоположность NHEJ, HDR происходит в клетках с более низкой частотой, но восстановление осуществляется через гомологичную рекомбинацию между донорской матрицей ДНК и целевым геномным локусом, в результате чего происходит вставка донорской ДНК. Следовательно, HDR с использованием нуклеазы применяется для получения направленного нокаута или замены аллеля [39].

На сегодняшний день почти любая лаборатория может проводить эксперименты по редактированию генома, охватывая любые виды, представляющие интерес. Для улучшения хозяйственно ценных признаков сельскохозяйственных животных с помощью генетических манипуляций необходимо точное редактирование генома в нескольких локусах, поскольку важные в производственном отношении свойства часто контролируются несколькими генами [37]. Различные сайты мутаций или типы мутаций в одном и том же гене могут также сильно влиять на важные признаки, имеющие значение, например, для воспроизводства [37]. Следовательно, значительное улучшение продуктивных признаков скота требует точного редактирования во множестве мест генома. Разработка жизнеспособной линии скота на основе множественных изменений генома не является тривиальной задачей, поскольку необходимо производить множество редактирований для сохранения генетических вариаций и избежать чрезмерного уровня инбридинга [30]. Способность осуществлять несколько изменений генома одновременно сделает технику более полезной для улучшения количественных признаков и ожидается, что это станет реальностью в короткой перспективе [30]. Достижения в понимании влияния различных генов и геномных вариантов на фенотипы и повышение эффективности мультиплексного редактирования генома будет способствовать открытию новых возможностей для улучшения количественных характеристик в молочном животноводстве, а также повышению эффективности разведения животных и выведению животноводства на новый уровень.

Примерами могут служить успешное получение нокаута гена  $\beta$ -лактоглобулина у КРС – основного белка и одного из важ-

нейших аллергенов в сыворотке коровьего молока – с использованием технологии ZFN [40]; введение гена лизоцима человека (Hlyz) в локус генома КРС, кодирующего б-казеин с применением ZFNs, в результате чего молочная железа трансгенного животного может секретировать лизоцим человека, убивающий в молоке *S. aureus*, тем самым защищая его от самого распространенного заболевания молочного скота – мастита [41]; получение трансгенных животных, менее восприимчивых к туберкулезу с помощью технологии TALEN путем введения гена SP110 в геном КРС [42]; совместная ZFN и TALEN модификация эмбрионов КРС, приводящая к введению мутаций, приводящих к разрушению локуса б-лактоглобулина у видов домашнего скота [43]; получение КРС с успешным нокаутом гена миостатина MSTN, сдерживающего рост мышц для предотвращения их дистрофии, с использованием TALEN [34]; применение метода редактирования генома TALEN для введения аллеля POLLED, связанного с отсутствием рогов у молочного голштинского КРС, что привело к получению комолых животных [44].

Технология редактирования генома позволяет быстро изменять ключевые гены, влияющие на целевые признаки, и получать требуемые генотипы через одно поколение, тем самым значительно ускоряя селекционный процесс [7].

С продолжающимся снижением стоимости секвенирования генома [45], возможно ожидать получения новой информации о генетических вариациях, влияющих на производственно-важные признаки КРС. Например, потенциал идентификации генетической изменчивости, контролирующей лактацию, может быть проиллюстрирован сравнением генетических отличий, контролирующих значительные различия в выработке молока у крупного рогатого скота *Bos taurus* и *Bos indicus*. Соответственно, редактирование генома может позволить интрогрессировать благоприятные аллели, что может иметь большие преимущества в отношении производства молока *Bos indicus* в тропических регионах мира [46].

Недостатком всех современных инструментов редактирования генома (ZFN, TALEN и CRISPR / Cas9) является вероятность мутаций в нецелевом участке генома [37]. Хотя эти мутации могут и не оказывать влияния на здоровье отдельных животных, они несут потенциальный риск и могут сдерживать широкое использование технологии редактирования генома. В большинстве случаев нецелевые мутации будут либо отбракованы в будущем, если они па-

губны или, скорее всего, исчезнут, если они нейтральны. Тем не менее в процессе изменения геномов следует учитывать нецелевое редактирование [37].

Инструменты редактирования генома могут эффективно дополнять существующие методы отбора в молочном скотоводстве. Наиболее востребованный вариант их использования – это приобретение контролируемых свойств за счет изменения единичных генов или локусов, оказывающих большое влияние на фенотип. С помощью информации о ключевых локусах SNP, полученных из молекулярного скрининга, возможно выполнять точные одиночные модификации в геномах животных, используя технологию редактирования генома и непосредственно редактировать эти локусы, чтобы получить генотип с желаемыми качествами [47]. Применение генетического модифицирования или редактирования генома, возможно, будет более простым в случае моногенных аллелей с известными последовательностями. В частности, было предложено использовать редактирование генома для фиксации благоприятных аллелей для признаков, связанных, например, с устойчивостью к болезням [48]. Одним из наиболее очевидных потенциальных применений редактирования генома у сельскохозяйственных животных может быть удаление известных вредных рецессивных аллелей, которые ухудшают рождаемость или здоровье, и в этом смысле восстановить геном после аккумуляции мутаций при разведении животных [49].

Метод редактирования генома позволяет вводить мутации, не оставляя следов, связанных с технологией, что, следовательно, приводит к модификациям генома, которые не поддаются выявлению, поскольку являются неотличимыми от естественных мутаций. Таким образом, используя генетические варианты одного и того же вида, возможно надеяться на принятие этой технологии и уменьшение препятствий к ее внедрению [7, 47].

*Потенциальные риски и факторы, ограничивающие использование технологии геномного редактирования*

Несмотря на то, что использование технологий редактирования генома может решить многие проблемы молочного скотоводства, необходимо с осторожностью относиться к их применению в связи с их масштабностью и долгосрочностью влияния. В отличие от трансгенных животных, обычно содержащих привнесенные последовательности в геном хозяина, в отредактированном геноме животных изме-

нения, проведенные с высокой точностью и эффективностью, часто свободны даже от следов воздействия используемой технологии [7]. Это требует разработки нормативной политики и стандартов, а также существенных технологий и ресурсов для обеспечения надлежащей регистрации и создания системы отслеживания, воспроизведения и использования этих животных и их продуктов [47, 50]. Даже в случае урегулирования технических и юридических препятствий остаются практические и этические вопросы, касающиеся введения и тиражирования модифицированных или отредактированных генетических вариантов в популяции, самыми важными среди которых остаются вопросы последствий генетических изменений. В связи с этим приобретают особое значение меры предосторожности, включающие в себя как определение и оценку рисков, так и управление ими [10]. Соображения безопасности и сложность этических проблем, связанных с использованием технологий геномного редактирования, следует принимать во внимание задолго до того, как генетически модифицированные животные и продукты, полученные от них, могут выйти на рынок, как, например, при производстве пищевых продуктов или фармацевтических препаратов [50]. Поэтому коммерциализация генетически модифицированных продуктов животного происхождения остается сложным вопросом, касающимся задействованных видов, важности конечного продукта, типа используемой технологии, отсутствия или наличия альтернативных способов достижения цели, вовлеченности этических вопросов и необходимости общественного признания.

Учитывать возможные этические проблемы необходимо и в случае генетических модификаций КРС, направленных на улучшение здоровья вымени коров или качества молока, а также использования коров в качестве биореакторов. Важность привлечения этических вопросов хорошо прослеживается в отношении противодействия повышенной скорости инбридинга, приводящего к ухудшению видовых характеристик или снижению приспособляемости к новым условиям. При этом следует особо выделить огромную разницу между использованием редактирования генома в отдельном лабораторном эксперименте и широким применением в крупномасштабных программах селекции животных [10].

### Заключение

Генетические модификации и геномное редактирование рассматривается сейчас

в качестве быстрого решения проблем в области селекции животных и их генетики. Появление в нужное время этих технологий может значительно сократить время воспроизводства, снизить его стоимость и быстро увеличить генетическое разнообразие, при значительном повышении его качества. Редактированием генов уже были продемонстрированы значительные улучшения в отношении, например, устойчивости к болезням и изменения других благоприятных характеристик. Кроме того, управление и содержание генетически модифицированного скота может иметь преимущества, связанные с его изменением.

Несмотря на гигантский потенциал гено-инженерных и геномных технологий для развития животноводства будущего, необходимо принимать в расчет, что на сегодняшний день отсутствует полное понимание ожидаемых комплексных изменений в ответ на генетические манипуляции. Поэтому к ним необходимо подходить с осторожностью, ввиду сложностей, связанных с крупномасштабностью и интегрированием в селекционные схемы, рисками принятия обществом и проблемами этического характера. В какой-то момент население планеты не сможет позволить себе роскошь не использовать такие новые технологии и ресурсы, так как риск их не использовать может быть большим [49].

Таким образом, использование этих новых технологий, вместе со способностью создавать гораздо более продуктивные фенотипы при надлежащем управлении, может привести к устойчивому и быстрому улучшению генома и стабильному обеспечению растущих потребностей человека в будущем.

*Автор выражает признательность А.В. Бабий за предложения по оформлению работы и коррекцию текста.*

### Список литературы

1. Britt J.H., Cushman R.A., Dechow C.D., Dobson H., Humblot P., Hutjens M.F., Jones G.A., Ruegg P.S., Sheldon I.M., Stevenson J.S. Invited review: Learning from the future-A vision for dairy farms and cows in 2067. *Journal Dairy Science*. 2018. vol. 101. no. 5. P. 3722–3741. DOI: 10.3168/jds.2017-14025.
2. Veerkamp R., Beerd B. Genetics and genomics to improve fertility in high producing dairy cows. *Theriogenology*. 2007. vol. 68. suppl. 1. P. S.266–S273. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2007.04.034.
3. Murphy B. Research in animal reproduction: quo vadimus? *Animal Reproduction*. 2012. vol. 9. no. 3. P. 217–222.
4. Thompson-Crispi K.A., Sewalem A., Miglior F., Mallard B.A. Genetic parameters of adaptive immune response traits in Canadian Holsteins. *Journal Dairy Science*. 2012. vol. 95. no. 1. P. 401–409. DOI: 10.3168/jds.2011-4452.
5. Long C. Transgenic livestock for agriculture and biomedical applications. *BMC Proceedings*. 2014. vol. 8. suppl. 4. O29. DOI: 10.1186/1753-6561-8-S4-O29.



6. Maksimenko O.G., Deykin A.V., Khodarovich Yu.M. and Georgiev P.G. Use of cransgenic animals in biotechnology: prospects and problems. *Acta Naturae*. 2013. vol. 5. no. 1. P. 33–46.
7. Laible G., Wei J., Wagner S. Improving livestock for agriculture–technological progress form random transgenesis to precision genome editing heralds a new era. *Biotechnology Journal*. 2015. vol. 10. no. 1. P. 109–120. DOI: 10.1002/biot.201400193.
8. Tan W., Proudfoot C., Lillico S.G., Whitelaw C.B. Gene targeting, genome editing: from Dolly to editors. *Transgenic Research*. 2016. vol. 25. no. 3. P. 273–287.
9. Fleming A., Abdalla E.A., Maltecca C., and Baes C.F. Invited review: reproductive and genomic technologies to optimize breeding strategies for genetic progress in dairy cattle. *Archive Animal Breeding*. 2018. vol. 61. no. 1. P. 43–57. DOI: 10.5194/aab-61-43-2018.
10. Eriksson S., Jonas E., Rydhmer L., Röcklinsberg H. Invited review: breeding and ethical perspectives on genetically modified and genome edited cattle. *Journal of Dairy Science*. 2018. vol. 101. no. 1. P. 1–17. DOI: 10.3168/jds.2017-12962.
11. Shrock E., Güell M. CRISPR in Animals and animal models. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*. 2017. vol. 152. P. 95–114. DOI: 10.1016/bs.pmbts.2017.07.010.
12. Юдин Н.С., Васильева Л.А., Белявская В.А., Айт-назаров Р.Б., Смирнов П.Н., Хитон М., Легрейд У., Орлова Г.В., Ромашенко А.Г., Воевода М.И. Создание панели ДНК пород крупного рогатого скота России для геномных исследований // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. № 3. С. 463–468.
13. Юдин Н.С., Воевода М.И. Молекулярно генетические маркеры экономически важных признаков у молочного скота // Генетика. 2015. Т. 51. № 5. С. 600–612.
14. Jonas E., de Koning D.-J. Genomic selection needs to be carefully assessed to meet specific requirements in livestock breeding programs. *Frontiers in Genetics*. 2015. vol. 6. no. 49. P. 1–8. DOI: 10.3389/fgene.2015.00049.
15. EFSA (European Food Safety Authority). Genetically modified animals. 2017. [Electronic resource]. URL: <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/genetically-modified-animals> (date of access: 08.08.2019).
16. Bruce D.M. Genome editing: moving the goalposts on the GM playing field? in *Food Futures: Ethics, Science and Culture*. I. A. S. Olsson, S. M. Araujo, and M. F. Vieira, ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands Conference Proceedings. 2016. P. 518–522. DOI: 10.3920/978-90-8686-834-6\_79.
17. Nuffield Council on Bioethics. Genome editing: An ethical review. in *Exploring Ethical Issues in Biology and Medicine*. J. Montgomery, ed. Nuffield Council on Bioethics, London, UK. 2016. P. 1–128. [Electronic resource]. URL: <http://nuffieldbioethics.org/wp-content/uploads/Genome-editing-an-ethical-review.pdf> (date of access: 08.08.2019).
18. Van Eenennaam A.L. Genetic modification of food animals. *Current Opinion in Biotechnology*. 2017. vol. 44. P. 27–34. DOI: 10.1016/j.copbio.2016.10.007.
19. Hammer R.E., Pursel V.G., Rexroad C.E., Wall R.J., Bolt D.J., Ebert K.M., and Brinster R.L. Production of transgenic rabbits, sheep and pigs by microinjection. *Nature*. 1985. vol. 315. no. 6021. P. 680–683.
20. Chan A.W., Homan E.J., Ballou L.U., Burns J.C., and Bremel, R.D. Transgenic cattle produced by reverse-transcribed gene transfer in oocytes. *Proceedings of the National Academy of Science USA*. 1998. vol. 95. no. 24. P. 14028–14033.
21. Wilmut I., Schnieke A.E., McWhir J., Kind A.J., Campbell, K.H.S. Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells. *Nature*. 1997. vol. 385. no. 6619. P. 810–813.
22. Keefer C.L. Artificial cloning of domestic animals. *Proceedings of the National Academy of Science USA*. 2015. vol. 112. no. 29. P. 8874–8878.
23. Petersen B., and Niemann H. Molecular scissors and their application in genetically modified farm animals. *Transgenic Research*. 2015. vol. 24. no. 3. P. 381–396. DOI: 10.1007/s11248-015-9862-z.
24. Wall R.J., Powell A.M., Paape M.J., Kerr D.E., Bannerman D.D., Pursel V.G., Wells K.D., Talbot N., and Hawk H.W. Genetically enhanced cows resist intramammary *Staphylococcus aureus* infection. *National Biotechnology* 2005. vol. 23. no. 4. P. 445–451.
25. van Berkel P.H., Welling M.M., Geerts M., van Veen H.A., Ravensbergen B., Salaheddine M., Pauwels E.K., Pieper F., Nuijens J.H., Nibbering P.H. Large scale production of recombinant human lactoferrin in the milk of transgenic cows. *National Biotechnology*. 2002. vol. 20. no. 5. P. 484–487.
26. Brophy B., Smolenski G., Wheeler T., Wells D., L’Huillier P., and Laible G. Cloned transgenic cattle produce milk with higher levels of beta-casein and kappa-casein. *National Biotechnology*. 2003. vol. 21. no. 2. P. 157–162.
27. Yang B., Wang J., Tang B., Liu Y., Guo C., Yang P., Yu T., Li R., Zhao J., Zhang L., Dai Y., and Li N. Characterization of bioactive recombinant human lysozyme expressed in milk of cloned transgenic cattle. *Plos One*. 2011 vol. 6. no. 3. e17593. DOI: 10.1371/journal.pone.0017593.
28. Javed A., Wagner S., McCracken J., Wells D.N., and Laible G. Targeted microRNA expression in dairy cattle directs production of beta-lactoglobulin-free, high-casein milk. *Proceedings of the National Academy of Science USA*. 2012. vol. 109. no. 42. P. 16811–16816.
29. Lievens A., Petrillo M., Querci M., and Patak A. Genetically modified animals: options and issues for traceability and enforcement. *Trends Food Science Technology*. 2015. vol. 44. no. 2. P. 159–176.
30. Jenko J., Gorjanc G., Cleveland M.A., Varshney R.K., Whitelaw C.B. A., Woolliams J.A., and Hickey J.M. Potential of promotion of alleles by genome editing to improve quantitative traits in livestock breeding programs. *Genetics Selection Evolution*. 2015. vol. 47. P. 55–69.
31. Doyon Y., McCammon J.M., Miller J.C., Faraji F., Ngo C., Katibah G.E., Amora R., Hocking T.D., Zhang L., Rebar E.J., Gregory P.D., Urnov F.D., Amacher S.L. Heritable targeted gene disruption in zebrafish using designed zinc-finger nucleases. *National Biotechnology*. 2008. vol. 26. no. 6. P. 702–708. DOI: 10.1038/nbt1409.
32. Christian M., Cermak T., Doyle E.L., Schmidt C., Zhang F., Hummel A., Bogdanove A.J., Voytas D.F. Targeting DNA double-strand breaks with TAL effector nucleases. *Genetics*. 2010. vol. 186. no. 2. P. 757–761. DOI: 10.1534/genetics.110.120717.
33. Ran F.A., Hsu P.D., Lin C.Y., Gootenberg J.S., Konermann S., Trevino A.E., Scott D.A., Inoue A., Matoba S., Zhang Y., Zhang F. Double nicking by RNA-guided CRISPR Cas9 for enhanced genome editing specificity. *Cell*. 2013. vol. 154. no. 6. P. 1380–1389.
34. Proudfoot C., Carlson D.F., Huddart R., Long C.R., Pryor J.H., King T.J., Lillico S.G., Mileham A.J., McLaren D.G., Whitelaw C.B., Fahrenkrug S.C. Genome edited sheep and cattle. *Transgenic Research*. 2015. vol. 24. no. 1. P. 147–153.
35. Wu H, Wang Y, Zhang Y, Yang M, Lv J, Liu J, Zhang Y. TALE nickase-mediated SP110 knock in endows cattle with increased resistance to tuberculosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 2015. 112(13) P. E1530-E1539.
36. Mali P., Esvelt K.M, Church G.M. Cas9 as a versatile tool for engineering biology. *Nature Methods*. 2013. vol. 10. P. 957–963. DOI: 10.1038/nmeth.2649.
37. Смирнов А.В., Юнусова А.М., Лукьянчикова В.А., Баттулин Н.Р. Система CRISPR/Cas9 – универсальный инструмент геномной инженерии // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20. № 4. С. 493–510. DOI: 10.18699/VJ16.175.
38. Zhu L., Mon H., Xu J., Lee J.M., and Kusakabe T. CRISPR / Cas9-mediated knockout of factors in non-homologous end joining pathway enhances gene targeting in silkworm



cells. *Scientific Reports*. 2015. vol. 5. no. 18103. P. 1–13. DOI: 10.1038/srep18103.

39. Masroori N., Cherry P., Merindol N., Li J., Dufour C., Poulain L., Plourde M.B., Berthou L. 2017. Gene knockout shows that PML (TRIM19) does not restrict the early stages of HIV-1 infection in human cell lines. *mSphere*. 2017. vol. 2. no. 3. e00233-17. DOI: 10.1128/mSphereDirect.00233-17.

40. Yu S., Luo J., Song Z., Ding F., Dai Y., and Li N. Highly efficient modification of beta-lactoglobulin (BLG) gene via zincfinger nucleases in cattle. *Cell Research*. 2011. vol. 21. no. 11. P. 1638–1640.

41. Liu X., Wang Y., Tian Y., Yu Y., Gao M., Hu G., Su F., Pan S., Luo Y., Guo Z., Quan F., and Zhang Y. Generation of mastitis resistance in cows by targeting human lysozyme gene to betacasein locus using zinc-finger nucleases. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 2014. vol. 281. no. 1780:20133368. P. 1–10. DOI: 10.1098/rspb.2013.3368.

42. Wu H., Wang Y., Zhang Y., Yang M., Lv J., Liu J., and Zhang Y. TALE nickase-mediated SP110 knockin endows cattle with increased resistance to tuberculosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2015. vol. 112. no. 13. P. E1530–E1539.

43. Wei J., Wagner S., Lu D., Maclean P., Carlson D.F., Fahrenkrug S.C., and Laible G. Efficient introgression of allelic variants by embryo-mediated editing of the bovine genome. *Science Report*. 2015. vol. 5. no. 11735. DOI: 10.1038/srep11735.

44. Carlson D.F., Lancto C.A. Production of hornless dairy cattle from genome-edited cell lines. *National Biotechnology*. 2016. vol. 34. no. 5. P. 479–482.

45. Desai N., Antonopoulos D., Gilbert J.A., Glass E.M., Meyer F. From genomics to metagenomics. *Current Opinions in Biotechnology*. 2012. Vol. 23. no. 1. P. 72–76.

46. Whitelaw C.B., Joshi A., Kumar S., Lillico S.G., Proudfoot C. Genetically engineering milk. *Journal Dairy Research*. 2016. vol. 83. no. 1. P. 3–11. DOI: 10.1017/S0022029916000017.

47. Ruan J., Xu J., Chen-Tsai R. Y., and Li K. Genome editing in livestock: are we ready for a revolution in animal breeding industry. *Transgenic Research*. 2017. vol. 26. no. 6. P. 715–726. DOI: 10.1007/s11248-017-0049-7.

48. Hickey J. M., Bruce C., Whitelaw A., and Gorjanc G. Promotion of alleles by genome editing in livestock breeding programmes. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2016. vol. 133. no. 2. P. 83–84. DOI: 10.1111/jbg.12206.

49. Simianer H. Genomic and other revolutions – why some technologies are quickly adopted and others are not. *Animal Front*. 2016. vol. 6. no. 1. P. 53–58. DOI: 10.2527/af.2016-0008.

50. Frewer L.J., Kleter G.A., Brennan M., Coles D., Fischer A.R., Houdebine L.M., Mora C., Millar K., and Salter B. Genetically modified animals from life-science, socio-economic and ethical perspectives: Examining issues in an EU policy context. *New Biotechnology*. 2013. 30. no. 5. P. 447–460. DOI: 10.1016/j.nbt.2013.03.010.

**МЕХАНИЗМЫ И ФАКТОРЫ АНГИОГЕНЕЗА****Шамитова Е.Н., Сымулова И.С., Леванова М.М., Кашеварова Э.А***ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары,  
e-mail: shamitva@mail.ru*

Ангиогенез (А) – это сложный процесс созревания молодой сосудистой сети или формирования путем миграции и пролиферации эндотелиальных клеток новых кровеносных сосудов в органах или тканях, из сформированной ранее сети сосудов. Новые капилляры образуются из мелких кровеносных сосудов путем активизирования эндотелиальной клетки, преобразовании в них протеиназ, деградации внеклеточной структуры ткани, разрастания и передвижения клеточных структур. Впоследствии благодаря формированию клетками первичных высокопроницаемых сосудов, начинается стабилизация и «взросление» структур клетки с помощью притягивания перикапиллярных клеток и клеток гладких мышц. В результате чего строится многогранная сеть сосудов. В норме ангиогенез представлен ответной реакцией на стимуляцию гормонов (ангиогенез в репродуктивной системе) или на изменяющуюся окружающую среду (ишемия способствует расширению сосудов). Основным стимулом, способствующий развитию ангиогенеза, – это гипоксия, которая, активируя транскрипцию факторов ангиогенеза –HIF-1 $\alpha$  (Hypoxia-inducible factor 1-alpha), стимулирует преобразование фактора роста (ФР) эндотелия сосудов (VEGF) и его синапсов. Затем, на этапе развития новой сети сосудов принимает участие проангиогенный фактор, который сдерживает эндотелиальную пролиферацию, снижает проницаемость сосуда и содействующий притягиванию перикапиллярных клеток.

**Ключевые слова:** ангиогенез, факторы роста, ангиопоэтин-1, тромбоцитарный фактор роста, трансформирующий фактор роста- $\beta$ 1

**MECHANISMS AND FACTORS OF ANGIOGENESIS****Shamitova E.N., Symulova I.S., Levanova M.M., Kashevarova E.A***Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«I.N. Chuvash State University Ulyanov», Cheboksary, e-mail: shamitva@mail.ru*

Angiogenesis (A) is a difficult process of maturing of young vascular network or forming by migration and proliferation of endothelial cells of new blood vessels in bodies or fabrics, from the network of vessels created earlier. New capillaries are formed of small blood vessels, by an aktivizirovaniye of an endothelial cell, transformation in them of proteinases, degradation of extracellular structure of fabric, growth and movement of cellular structures. Subsequently thanks to forming by cells of primary high-permeability vessels, stabilization and «growing» of structures of a cell by means of pulling the perikapillyarnykh of cells and cells of unstriated muscles begins. Therefore the many-sided network of vessels is under construction. Normal an angiogenesis is provided by response to stimulation of hormones (an angiogenesis in a reproductive system), or on the changing environment (ischemia promotes vasodilatation). The main incentive contributing to the development of an angiogenesis is a hypoxia which activating a transcription of factors of an angiogenesis –HIF-1 $\alpha$  (Hypoxia-inducible factor 1-alpha) – stimulates transformation of the growth factor (GF) of an endothelium of vessels (VEGF) and its synapses. Then, the pro-angiogenic factor which constrains endothelial proliferation takes part in a stage of development of new network of vessels, reduces permeability of a vessel and the perikapillyarnykh of cells promoting pulling.

**Keywords:** an angiogenesis, growth factors, angiopoetin-1, trombositarny factor of growth, the transforming factor of growth- $\beta$  1

Ангиогенез (а) – сложный процесс формирования новых кровеносных сосудов в органах либо тканях, предопределенный строго поочередной работой множества факторов в пространственно-временной позиции. Новые капилляры образуются из мелких кровеносных сосудов, путем активизирования эндотелиальной клетки, преобразования в них протеиназ, деградации внеклеточной структуры ткани, разрастания и передвижения клеточных структур. Впоследствии благодаря формированию клетками первичных высокопроницаемых сосудов, начинается стабилизация и «взросление» структур клетки с помощью притягивания перикапиллярных клеток и клеток гладких мышц. В результате чего строится многогранная сеть сосудов. В норме ангио-

генез происходит в спокойном темпе, активируется он при условии тканевых ранений, наличия тромбов и других патологических процессах [1]. Физиологический ангиогенез – это реакция ткани на гормональную стимуляцию (ангиогенез в репродуктивной системе) или изменения в окружающей среде (в ответ на ишемию ткань может расширять сосудистую сеть). Исследования последних научных работ приходят к выводу, что главным стимулом ангиогенеза является дефицит кислорода, который вызывает гипоксию или ишемию, при этом HIF-1 содействует выразительности васкулярных факторов, а именно фактору роста внешнего сосудистого слоя VEGF и его нервных окончаний, который является основой регулирования роста сосудов в различных периодах

развития организма [2]. Физиологический ангиогенез представлен реакцией адаптации к дефициту кислорода, поскольку VEGF считается стресс-индуцированным белком, регулируемый глюкозой и кислородом. Фактор роста индивидуально отбирает эндотелиальные клетки (ЭК) для активации их преобразования и передвижения. Увеличивает пропускную способность сосуда для прохода белков в периваскулярное пространство, необходимое для контролируемой миграции ЭК и развитию вазодилатации [3]. В этапе развития новой сети сосудов принимает участие проангиогенный фактор, который сдерживает эндотелиальную пролиферацию, снижает проницаемость сосуда и содействует притягиванию перикапиллярных клеток. Tie2 (тирозинкиназные рецепторы) играют ведущую роль в процессах роста, развития и дифференцировки клеток. Они вместе с ангиопоэтинами играют роль в корректировке сопряжения эндотелия с рядом лежащими клетками [4]. Для роста системы сосудов в эмбриональном периоде необходима система сигналов Tie/Ang, соединяемая с VEGF и его рецепторами, равно как и каскад сигнализации. Tie2/Ang1 является несамостоятельным, промотирующим ассоциацию перicyтов и эндотелия, снижающим сосудистую проницаемость и обладающим противовоспалительной активностью каскадом сигнализации [5]. Ang1 помогает образовывать связь между перicyтами и эндотелиальными клетками при связывании с экспрессируемым на поверхности клеток эндотелия рецептором Tie2, помогая стабилизации, находящегося в стадии развития сосудистой системы [6, 7]. 2. Тромбоцитарный ФР (PDGF), который привлекает перicyты и ГМК. Это белок, синтезируемый в мегакариоцитах и находящийся в гранулах тромбоцита. Все элементы – это результат роста фактора около тысячи молекул тромбоцитов. Фактор – мощный стимул восстановления тканей. Рецепторы для этого находятся в стенке сосудов на поверхности фибробласта и клетках гладкой мускулатуры. PDGF активизирует пролиферацию таких клеток. Более того, PDGF усиливает выработку компонентов соединительной ткани (коллагена, гистамина и др.) [8]. 3. Трансформирующий ФР-β1 (TGF-β1) стимулирует синтез белков внеклеточной матрицы. Контролирующий пролиферацию полипептид (представитель цитокинов) в большинстве клеток также регулирует дифференциацию и другие функциональные особенности. Члены семейства TGF-β1 проявляют множественное воздействие на огромное количество видов клеток и способствуют контролю роста кле-

ток, дифференциации и апоптоза, а также в модуляции иммунной системы [9]. Артериогенез способствует формированию коллатеральных сосудов из неактивных артериальных сетей, по которым кровь проходит в места замыкания. Главным катализатором такого процесса является увеличение напряжения сдвига выше места окклюзии, способствующего преобразованию молекул адгезии клетками эндотелия с последующей аккумуляцией моноцитов в стенке сосуда. Они секретируют функционирующие ФР, основными регуляторами артериогенеза являются фактор роста фибробластов (FGF), и PDGF, VEGF и СХС-хемокины (подсемейства, характеризующиеся наличием одной аминокислоты, которая разделяет N-концевые цистеины) [10]. Действия ангиогенеза контролируются ФР во временном пространстве, этот факт следует учесть во время терапевтического ангиогенеза. Стабильное состояние сосудистой сети в организме постнатального периода обеспечивается равноценным соотношением между активаторами ангиогенеза (в основном ФР и цитокинами) и его ингибиторами (тромбоспондином, ангиостатин, тумастин, эндостатином и др.), движение такого баланса в сторону активаторов, в большинстве случаев, непродолжительный, ведет за собой активацию ангиогенеза [11]. Примерами являются воспаление, заживление ран, ишемия.

Этапы ангиогенеза.

Данный процесс и образование отростчатых сосудов проходит в несколько последовательных шагов. В первой фазе начинается активация перicyтов, которые находятся в тесном контакте с эндотелием, они увеличиваются в объеме, укорачивая свои отростки. Таким образом, происходит ослабление межклеточных контактных соединений. Перicyты проецируются в периваскулярное пространство, происходит деградация базальной мембраны и диссоциация перicyтов и эндотелия [12]. Хотя процесс на начальных стадиях роста эндотелиоцитов в новообразованную васкуляризованную ткань может протекать без помощи перicyтов, в последующей работе именно они локализируются по ходу прорастания эндотелия и формируют процессы, которыми направляются новообразованные сосуды [13]. Клетки эндотелиоциты берут начало своего роста в тканях по направлению Ang-1 продуцирующей ткани и, производя ферменты, катепсины и активаторы плазминогена, которые ведут к ухудшению базальной мембраны, так же матриксные металлопротеиназы (MMPs), являющиеся основными протеолитическими энзимами, принимающими участие в этом процес-

се. Внеклеточный матрикс, расщепляясь, формирует полипептиды, фрагменты этих белков имеют как про- так и антиангиогенные эффекты. Растворение белков внеклеточного матрикса проходит под контролем ингибиторов протеаз (UAP, PAI) [14]. При участии молекул клеточной адгезии и 17 интегринов, лигандами для которых служат белки внеклеточного матрикса (фибронектин, ламинин, витронектин), ослабление межклеточных контактных соединений эндотелиальных клеток и разрушение базальной мембраны дает начало далее следующему перемещению эндотелиальных клеток в околососудистый участок [15]. Клетки эндотелия начинают активно пролиферировать, сформировав структуры в виде канала, далее преобразовываясь в зрелую сосудистую сеть. Некоторые сосуды микроциркуляторного русла объединяются в целостную сеть, посредством которой происходит перфузия тканей (рис. 1). До этого момента VEGF влияет на сохранение клеток эндотелия и их целостность [16].

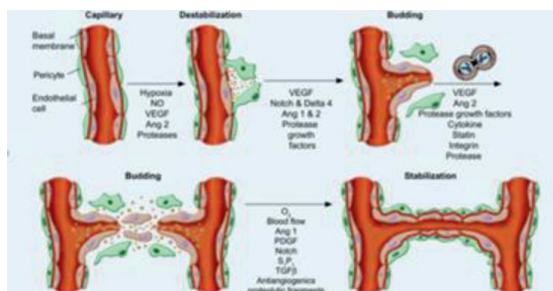


Рис. 1. Этапы ангиогенеза

Момент подъема эндотелия сосудов. В процессе проницаемости сосудов лежит база регуировки А. VEGF – мощнейший индуктор ангиогенеза в целом ряде опытных моделей *in vivo* [17]. Он представляет собой гомодимерный, высокогликолизированный, митогенный белок, предназначенный для эндотелиальных клеток. Большинство ученых считают, что VEGF взаимодействует с цитокинами, которые имеют сенсоры с протеолитическими ферментами и растворимые антагонисты. Они, взаимодействуя, регулируют высвобождение цитокинов из внеклеточного матрикса [18]. Группа VEGF включает в себя ряд образцов: EGF-A способствует наращиванию проницаемости сосуда; VEGF-B регулирует спад внеклеточного матрикса, адгезии и клеточного передвижения; VEGF-C и VEGF-D играют главную роль в регуляции лимфатических кровеносных сосудов; так же VEGF-E является вирусным гомологом и способствует плацентарному под-

ему (PIGF). Он отвечает за построение сосудистой сети в плаценте (рис. 2).

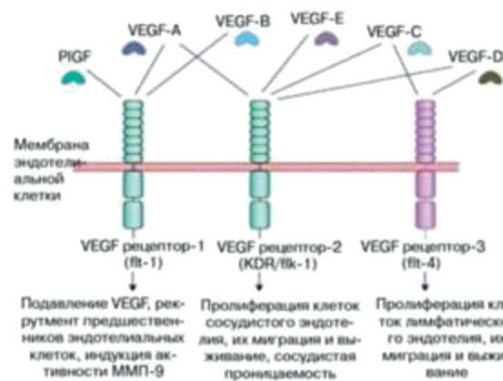


Рис. 2. Семейство VEGF

Совместное взаимодействие VEGF с рецепторами VEGFR-2 подключает активацию всех имеющихся сигнальных путей каскада. Два таких примера показаны на рисунке. Такое взаимодействие приводит к выживанию клетки и проницаемости сосудов, путем поглощения генов, которые способствуют пролиферации и передвижению клеток эндотелия. К примеру, связывание VEGF с сенсором VEGFR-2 приводит к димеризации сенсора с дальнейшей активацией пути синтеза ДНК и подъема клеток PLC-PKC-Raf-MEK-митогенактивированной белковой киназы (МАРК), а еще дальнейшей инициацией синтеза ДНК и подъема клеток, за это время как активация фосфатидилинозита 3'-киназы (PI3K)-Akt-way обязана прирастить подъем эндотелиальных клеток. Передвижение клеток и изменения в цитоскелете актина вызывает ген Src. Рецепторы VEGF располагаются на поверхности эндотелиальной клетки, но не теряют способности стать внутриклеточными [19]. Они являются участниками процесса приспособления клетки для выживания. VEGFR-2 представлен полноразмерным сенсором, прикрепляющимся к плоскости клеточки. VEGF-CcVEGFR-3 связывание опосредует лимфангиогенез. VEGF имеет возможность вязать рецепторный нейропиплин (NRP), который имеет возможность работать как coreceptor с VEGFR-2 (горизонтальная стрелка 1) и имеет возможность регулировать А [20]. Комбинированное внедрение VEGF в экспериментальных исследований, а еще фактора стабилизации сосуда ангиопоэтин-1, и тромбоцитов FR (PDGF-BB) в композиции с FGF-2 вызывает возникновение сосудистой сети, которая продолжает оставаться размеренной сквозь 1 год впоследствии



остановки данных моментов [21, 22]. Иным раскладом к более равновесной стимуляции ангиогенеза, вполне вероятно, может быть создание генетических структур, основанных на консистенции геномной ДНК, а еще cDNA-форм гена VEGF, имеющие в для себя экзоны и интроны в иной области слияния. Другая стратегия имеет возможность основываться на применении генов, которые кодируют моменты, которые активируют поглощение множества ангиогенных молекул [23]. Фактором, обеспечивающим больше обобщенные сигналы ангиогенеза, имеет возможность быть активатор плазминогена наподобие урокиназы (urokinase) – протеаза серина, ведущей регулятор внеклеточного протеолиза, а еще моделирование тканей. Урокиназа инициирует составление капилляров и артериол и наращивает скопление макрофагов в зоне перинфаркции, сокращает величину возникших, увеличивает васкуляризацию, готовит более скорым восстановление перфузии и не позволяет развиваться некрозу в ишемической конечности [24].

### Заключение

Дефицитность кровоснабжения приводит к гипоксии по причине понижения диффузии воздуха. Гипоксия считается более необходимым катализатором А, есть активация метаболических стезей, которые индуцируются белками, этими как момент гипоксии I, собственно, что приводит к наращиванию экспрессии проангиогенных моментов, этих как моменты подъема VEGF и фибробластов [25]. Впоследствии подключения А случается перелом соединительнотканной пластинки и внеклеточного матрикса (ВКМ), вследствие увеличенной энергичности матрикса. Далее клетки организуются в каналцы, с просветами образуя свежую капиллярную металлопротеиназу (ММП). Во время сего процесса притягиваются перicyты, которые прикрепляются к свежим кровеносным сосудам и стабилизируются. До сего этапа созревания единство и выживание эндотелиальных клеток находятся в зависимости от VEGF1.13. Другой методикой экспрессии считается втягивание воспалительных клеток, цитокинов ФНО (фактор некроза  $\alpha$ -опухолей) и ИЛ-1, которые в собственную очередь индуцируют продукцию обычных клеток. Подъем микрососудов продолжается до тех пор, пока же не достигнется очень максимально вероятная близость к клеточке. Впоследствии А. перебегаем в стадию спокойствия (в дамской репродуктивной системе ангиогенный цикл считается исключением). Каждое наращивание массы ткани сопрягается с уноваскуляризацией, которая поддержи-

вает необходимую плотность сосудов. Например, А. индуцируется, когда метаболическая надобность выше перфузионную дееспособность имеющих место быть сосудов. По-видимому, устройство данной адаптивной реакции заключается в том, собственно, что условный недостаток воздуха приводит к ужесточению ангиогенных стимулов.

### Список литературы

1. Tahara T., Shibata T., Nakamura M. et al. Effect of polymorphisms in the 3' untranslated region (3' – UTR) of vascular endothelial growth factor gene on gastric cancer and peptic ulcer diseases in Japan. *MolCarcinog.* 2009. vol. 48. no. 11. P. 1030–1037.
2. Спринджук М.В., Ковалев В.А., Кончиц А.П., Демидчик Ю.Е., Фридман М.В., Богуш А.Л., Ляховский В.В. Ангиогенез: программное обеспечение для исследования феномена и вопросы количественной оценки гистологических изображений // *Врач и информационные технологии.* 2010. № 3. С. 38–46.
3. Парфенова Е.В., Ткачук В.А. Терапевтический ангиогенез: достижения, проблемы, перспективы // *Кардиологический вестник.* 2007. № 2 (14). С. 5–14.
4. Thurton G. *Cell Tissue Res.* 2003. Vol. 314. P. 61–68.
5. Fu J., Bai P., Chen Y., Yu T., Li F. Inhibition of miR-495 Improves Both Vascular Remodeling and Angiogenesis in Pulmonary Hypertension. *J. Vasc. Res.* 2019. V. 26. P. 1–10. DOI: 10.1159/000500024.
6. Davidson S.M. A mitochondrial route to the stimulation of angiogenesis? *E. Bio. Medicine.* 2019 Apr 24. pii: S2352-3964(19)30272-5.
7. Иванов А.Н., Куртукова М.О., Бугаева И.О., Иванов А.Н. Факторы, регулирующие ангиогенез // *Современные проблемы науки и образования.* 2015. № 5. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=22360> (дата обращения: 17.08.2019).
8. Прозоровский В. Кровеносные сосуды и рак // *Наука и жизнь.* 2006. № 9. [Электронный ресурс]. URL: [https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya\\_biblioteka/430354](https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/430354) (дата обращения: 17.08.2019).
9. Shibuya M. Vascular endothelial growth factor and its receptor system: physiological functions in angiogenesis and pathological roles in various diseases. *J. Biochem.* 2013. vol. 153. no. 1. P. 13–19.
10. Wustmann K., Zbinden S., Windecker S., et al. Is there functional collateral flow during vascular occlusion in angiographically normal coronary arteries? *Circulation.* 2003. vol. 107. P. 2213–2220.
11. Гавриленко Т.И., Рыжкова Н.А., Пархоменко А.Н. Сосудистый эндотелиальный фактор роста в клинике внутренних заболеваний и его патогенетическое значение. *Украинский кардиологический журнал.* 2011. № 4. С. 87–95.
12. Folkman J. The vascularization of tumors. *Scientific American.* 1976. Vol. 234 (5). P. 158–154.
13. Nehls V., Denzer K., Drenckhahn D. Pericyte involvement in capillary sprouting during angiogenesis in situ. *Cell and Tissue Research.* 1992. Vol. 270 (3). P. 469–474.
14. Sen S., McDonald S.P., Coates P.T., Bonder C.S. Endothelial progenitor cells: novel biomarker and promising cell therapy for cardiovascular disease. *Clinical Science.* 2011. Vol. 120 (7). P. 263–283. DOI: 10.1042/CS20100429.
15. Humphries M.J., Travis M.A., Clark K., Mould A.P. Mechanisms of integration of cells and extracellular matrices by integrins. *Biochemical Society Transactions.* 2004. Vol. 32. P. 822–825.
16. Sprindzuk V.M. Angiogenesis in thyroid malignant neoplasm: State of the art and advances of the modern digital pathology and nanotechnology. *Journal of Clinical Pathology and Forensic Medicine.* 2010. Vol. 1 (3). P. 16–34.

17. Angiogenesis, the growth of new capillary blood vessels in the body, is an important natural process used for healing and reproduction [Electronic resource]. URL: <https://angio.org/about-angiogenesis> (date of access: 11.06.2019).
18. Петрова Л.В., Кушлинский Н.Е., Ильина Л.В. Фактор роста эндотелия сосудов как показатель гипоксии тканей, его возможная роль в патогенезе плоского лишая слизистой оболочки рта // Вестник дерматологии и венерологии. 2004. № 5. С. 7–8.
19. Sen S., McDonald S.P., Coates P.T., Bonder C.S. Endothelial progenitor cells: novel biomarker and promising cell therapy for cardiovascular disease. *Clinical Science*. 2011. Vol. 120 (7). P. 263–283. DOI: 10.1042/CS20100429.
20. Baburamani A., Joakim C., Walker D.W., Castillo-Melendez M. Vulnerability of the developing brain to hypoxic-ischemic damage: contribution of the cerebral vasculature to injury and repair? *Front Physiol*. 2012. DOI: 10.3389/fphys.2012.00424.
21. Shyu K.-G., Chang H., Isner J.M. Synergistic effect of angiopoietin-1 and vascular endothelial growth factor on neoangiogenesis in hypercholesterolemic rabbit model with acute hind limb ischemia. *Life Sciences*. 2003. Vol. 73. P. 563–79.
22. Cao R., Brakenhielm E., Pawliuk R. et al. Angiogenic synergism, vascular stability and improvement of hind-limb ischemia by a combination of PDGF-BB and FGF. *Nat. Med*. 2003. Vol. 9. P. 604.
23. Вирстюк Н.Г., Сенютович Н.Р. Роль факторов роста в патогенезе поражений печени у больных с метаболическим синдромом и хроническим бескаменным холециститом // Клиническая медицина. 2013. № 9. С. 22–25.
24. Танашян М.М., Лагода О.В., Антонова К.В., Коновалов Р.Н. Хронические цереброваскулярные заболевания и метаболический синдром: подход к патогенетической терапии когнитивных нарушений // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2016. № 116 (9). С. 106–110. DOI: 10.17116/jnevro201611691106-110.
25. Baburamani A., Joakim C., Walker D.W., Castillo-Melendez M. Vulnerability of the developing brain to hypoxic-ischemic damage: contribution of the cerebral vasculature to injury and repair? *Front Physiol*. 2012. DOI: 10.3389/fphys.2012.00424.

СТАТЬИ

УДК 612.82:159.9

**ВЛИЯНИЕ НЕЙРОГЕНЕЗА  
НА ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИЧНОСТИ**

**<sup>1</sup>Радзевич А.В., <sup>2</sup>Алексеев И.В., <sup>2</sup>Старовойтова А.А.**

<sup>1</sup>*ПАО Сбербанк, Омск, e-mail: radbron@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Омский государственный технический университет, институт дизайна и технологий,  
Омск, e-mail: aleksira.1310@mail.ru, styra.ru@mail.ru*

В статье обосновывается значение эмоционального и психологического состояния человека и актуальность самостоятельного построения уровня энергии его организма. Рассматривается нейрогенез как основной источник влияния на психологическое состояние человека. Определены факторы, влияющие на формирование и образование нейронных связей в головном мозге взрослого человека. Раскрывается приоритетный фактор развития нейронных связей головного мозга – питание. Рассматриваются особенности сбалансированного и полезного (с точки зрения биохимического фактора) питания как основного источника нейрогенеза в головном мозге. Описываются рацион и состав продуктов, которые влияют на деятельность и здоровье мозга, а также психический комфорт человека. Проведено исследование с целью количественного измерения влияния питания на такие показатели жизни человека, как эмоции, работоспособность и общее самочувствие (энергия, настроение, активность). В качестве испытуемых моделей определения эмоционального и психологического состояния человека выбраны методика оценки самоорганизации деятельности, психодиагностики управления временем и тест для диагностики самочувствия, активности и настроения. Приводятся результаты тестирования респондентов до и после приема рекомендованного сбалансированного рациона питания, основанного на потреблении всех необходимых для головного мозга питательных веществ. Результаты исследования подтверждают результативность использования такого фактора, как питание, в качестве действующего и практического инструмента влияния на процесс нейрогенеза, а значит, и психологическое состояние человека.

**Ключевые слова:** головной мозг, нейрогенез, нейронные связи, питание, психологическое состояние человека

**NUTRITION AS THE DOMINANT FACTOR IN NEUROGENESIS**

**<sup>1</sup>Radzevich A.V., <sup>2</sup>Alekseenko I.V., <sup>2</sup>Starovoytova A.A.**

<sup>1</sup>*PSC «Sberbank», Omsk, e-mail: radbron@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Omsk State Technical University, Institute of design and technology,  
Omsk, e-mail: aleksira.1310@mail.ru, styra.ru@mail.ru*

The importance of emotional and psychological state of a person and the relevance of independent construction of the energy level of his body are substantiated in the article. Neurogenesis as the main source of influence on the psychological state of a person is considered. The factors influencing the formation and formation of neural connections in the brain of an adult are determined. The priority factor of development of neural connections of a brain – food is revealed. The features of balanced and useful (in terms of biochemical factor) nutrition as the main source of neurogenesis in the brain are considered. Describes the diet and composition of products that affect the activity and health of the brain, as well as mental comfort. A study was conducted to quantify the impact of nutrition on such indicators of human life as emotions, performance and overall health (energy, mood, activity). As the tested models for determining the emotional, psychological state of a person, a method for assessing the self-organization of activity and psychodiagnosis of time management and a test for diagnosing well-being, activity and mood were chosen. The results of testing respondents before and after taking the recommended balanced diet, based on the consumption of all necessary nutrients for the brain. The results of the study confirm the effectiveness of the use of such a factor as nutrition as an effective and practical tool for influencing the process of neurogenesis, and hence the psychological state of a person.

**Keywords:** brain, neurogenesis, neural pathways, the nutrition, psychological state of a person

Современное общество достигло значительных результатов благодаря науке в индустрии красоты, химии, биологии и других областях, которые влияют на жизнь человека. На текущий момент основной проблемой большинства людей является сохранение молодости и здоровья, увеличение количества энергии, снижение уровня эмоциональной нагрузки, которое негативно сказывается на психологическом комфорте, и создание ощущения гармонии и личностной целостности.

Большинство моделей в психологии рассматривает поверхностные методы и ин-

струменты влияния на обозначенные сферы жизни человека. Как правило, рекомендуется следить за своим эмоциональным состоянием и повышать уровень энергии самостоятельно, опираясь лишь на самодисциплину, мотивацию, а также практические и психологические упражнения, на которые у большинства людей, к сожалению, нет времени. Возникает замкнутый круг, в котором есть потребность в качественном изменении жизни человека и нет ежедневного простого рабочего инструмента, без которого обществу обойтись было бы довольно трудно.

Таким образом, современный человек нуждается в понятном и эффективном способе построения своего эмоционального и психологического здоровья, который помогал бы выдержать ритм будничной жизни и сформировать, в итоге, более благополучное и счастливое общество.

Многие ученые сходятся во мнении, что наша жизнь, здоровье, эмоциональная сфера – это результат деятельности нашего самого главного органа – головного мозга. Именно от него отходят электрические импульсы, которые в свою очередь руководят нашими действиями, желаниями, настроением и пр. [1–4]. Данный физиологический процесс непосредственным образом влияет на формирование того или иного психологического типа личности в целом, что крайне важно для создания здорового современного общества и будущего поколения. Исходя из этого есть основание полагать, что при внесении изменений, влияющих на работу головного мозга, есть шансы получить те самые необходимые человеку перемены, в которых он нуждается. Описанная закономерность определена в качестве теоретической гипотезы, послужившей основанием для проведения данного исследования.

Цель настоящей работы – рассмотреть особенности сбалансированного и полезного (с точки зрения биохимического фактора) питания, как основного источника нейрогенеза в головном мозге, измерить количественно его влияние на такие показатели жизни человека, как эмоции, работоспособность и общее самочувствие (энергия, настроение, активность). Для этого необходимо: изучить факторы, влияющие на формирование и образование нейронных связей в головном мозге; определить причины, влияющие на работу мозга в большей степени; сформировать практический рабочий инструмент, позволяющий провести тестирование сформулированной теоретической гипотезы; апробация методики на выборке 98 человек; измерение основных психологических параметров личности в контексте до и после; проверка эффективности методики путем математического подсчета простота показателей.

Нейробиология давно задается вопросом о влиянии внешних факторов на организм человека и пристально рассматривает взаимосвязь нейрогенеза с окружающей средой, питанием, различного рода нагрузками и т.д. Последние исследования в данной области показали, что основными причинами, влияющими на нейрогенез у взрослого человека, являются: питание, регулярные умственные нагрузки, физические упражнения на все группы мышц, здоровая окружающая среда, полноценный и качественный отдых, а так-

же индивидуальный опыт человека, в том числе воля [5, 6].

Однако приоритетным показателем значительных изменений в головном мозге ученые отмечают качество питания. И действительно, от особенности потребляемых организмом продуктов зависит то, что получит мозг в результате: огромное количество токсинов и вредных веществ или витамины, минералы и прочие макро- и микронутриенты, необходимые для полноценной и качественной работы всех процессов.

Ученые придерживаются различных теорий и практик в обосновании пользы и вреда потребляемых организмом человека продуктов питания. Иногда эти теории носят исключительно полярный характер, вводя в заблуждение и перетягивая то на одну, то на другую сторону приверженцев здорового образа жизни или просто неравнодушных к своему здоровью людей. Так, Нил Бернارد советует сократить или вовсе прекратить употребление животного белка, так как именно он в большей степени является причиной огромного количества смертельных болезней, чем какой-либо другой фактор образа жизни человека или окружающей среды [3]. Дэвид Перлмуттер в своих работах, напротив, рекомендует потреблять мясо, птицу, яйца, однако настаивает на исключении из рациона таких продуктов питания как хлебобулочные изделия, поскольку именно в пшенице, ржи и ячмене содержится глютен – самый опасный белок для головного мозга [7]. Каждая из этих теорий подкреплена убедительными доводами и исследованиями в области диетологии и нейробиологии, однако истина по-прежнему обществу не известна.

Тем не менее большинство ученых сходятся во мнении, что при создании благоприятной среды для развития нейронных связей в головном мозге существует основная проблема, от которой необходимо избавиться прежде всего – это окислительный стресс и воспалительные процессы. Для решения этих главных задач необходим рацион, в который входят разноцветные фрукты и овощи, необработанное зерно, жирная рыба. Именно они в изобилии обеспечивают организм антиоксидантами и полезными жирами, которые ослабляют воспаление и окислительный стресс. Избегая продуктов с высоким содержанием сахара, также возможно оградить организм от конечного продукта неферментного гликирования и снизить уровень загрязнения не только мозга, но и организма в целом [3, 5].

Поскольку мозг человека состоит на 60% из жира, необходимо тщательно следить за качеством потребляемых вместе с пищей жиров. В наши дни среднестатистический человек потребляет слишком много насы-



ценных жиров, то есть трансжиров и масел, содержащих омега-6 (например, кукурузное масло), и эти перемены в рационе оказывают влияние на химический состав мозга, естественно не в лучшую сторону. Для решения данной проблемы стоит заменить привычные, малополезные масла на рыбу, морепродукты и растительные масла. Жирные кислоты омега-3 содержатся в маслах из льняного семени, канолы, грецких орехов, а также в ряде ярко-зеленых овощей [8].

Жирные кислоты омега-3 не должны рассматриваться в изоляции от других питательных веществ. Среди них четыре важных диетических фактора также влияют на деятельность мозга – цинк, селен, фолиевая кислота и все диетические антиоксиданты. Все эти металлы нужны организму: медь – для образования ферментов, железо – для клеток крови, цинк – для передачи нервных импульсов и множества других функций. Однако оказалось, что при их избытке в организме они способны навредить нервным клеткам головного мозга. Разница между безопасным количеством и токсичной дозой является крохотной, и именно в этом заключается сложность построения гармоничной модели питания, благотворно влияющей на нейрогенез и другие процессы в организме человека. Кроме того, цинк, селен, магний, витамин D и витамины группы B играют особую роль для здоровья мозга, в том числе для психического комфорта человека. Для насыщения организма данными веществами необходимо потреблять брокколи, виноград, апельсины, зерновые, яблоки в достаточном количестве [3, 7, 8]. Также важными компонентами добавок служат витаминно-минеральные комплексы, незаменимые жирные кислоты, пробиотики, волокна и растительные продукты (фитонутриенты). Однако стоит учитывать, что добавки никогда не заменят полноценного разнообразного здорового рациона [3].

#### Материалы и методы исследования

В рамках данной работы было проведено исследование, направленное на изучение закономерности развития нейронных связей и психологических показателей индивидуальности человека. В качестве респондентов приняли участие 98 человек, не ранжируемых по каким-либо метрическим данным или группам. Для определения исходного уровня показателей каждый испытуемый прошел тестирование, определяющее его работоспособность по методике оценки самоорганизации деятельности и психодиагностики управления временем [9], а также его общее самочувствие по тесту диагностики самочувствия, активности и настроения (САН) [10]. В течение месяца испытуемые

придерживались рекомендованного сбалансированного питания, основанного на потреблении всех необходимых для головного мозга питательных веществ: белков, жиров, минералов, витаминов и т.д., после чего тестирование проводилось повторно.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения исследования участники отметили улучшение следующих психологических параметров:

- значительно улучшилось общее эмоциональное состояние;
- 80% испытуемых стали чувствовать себя увереннее и отметили повышение уровня самоуважения;
- 40% респондентов отметили увеличение желания в достижении своих целей и большую уверенность в возможности реализации поставленных задач;
- увеличение работоспособности сопровождалось такими эмоциональными и психологическими параметрами, как стрессоустойчивость, выдержка и концентрация на поставленных ежедневных целях;
- жизнелюбие и чувство внутреннего счастья отмечают большинство из испытуемых.

Кроме того, многие из респондентов наблюдали такие изменения физиологического характера, как улучшение сна, бодрость в течение дня и отсутствие тяжести при приеме пищи. Результаты количественных изменений приведены в таблице.

Процент прироста  $\text{Пр}$  значения показателей рассчитывался по формуле

$$\text{Пр} = \left( \frac{\text{Пн}}{\text{Пк}} - 1 \right) \cdot 100,$$

где  $\text{Пн}$  – начальное значение показателя;  $\text{Пк}$  – конечное значение показателя.

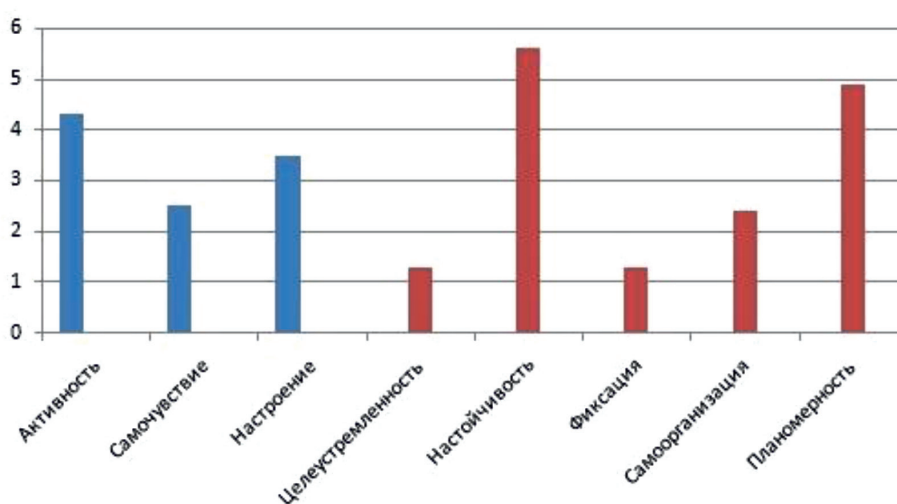
Диаграмма прироста значений показателей приведены на рисунке.

Исходя из данных, полученных в результате повторного тестирования, наибольшие изменения заметны в таких психологических показателях личности, как настойчивость, активность и планомерность. Это целиком и полностью подтверждают комментарии испытуемых, полученные во время проведения исследования, которые говорят об их позитивных изменениях в продуктивности и эффективности работы или учебы.

Наименьший прирост наблюдается в целеустремленности и фиксации на структурировании деятельности, который, вероятно, вызван тем, что данные параметры зависят в большей степени от врожденных черт характера личности, нежели от развития психологической устойчивости человека.

## Результаты исследований

Наименование показателя	Значение показателя, балл	
	начальное	конечное
Оценка самоорганизации деятельности		
Целеустремленность	28,96	29,35
Настойчивость	16,42	17,34
Фиксация	17,15	18,19
Самоорганизация	7,27	7,45
Планомерность	18,64	19,56
Диагностика самочувствия, активности и настроения (САН)		
Самочувствие	29,6	30,5
Активность	28,4	28,9
Настроение	31,2	32,8



Прирост значений показателей, %

**Заключение**

Таким образом, можно сделать вывод, что сбалансированное, полноценное и качественное питание является отправной точкой процесса нейрогенеза в головном мозге взрослого человека, который, в свою очередь, находит выражение в виде увеличения физиологических и психологических показателей личности. При этом позитивные изменения наблюдаются не только в улучшении самочувствия и настроения, но также и в активности, продуктивности, возможности концентрироваться на поставленных задачах и целях, настойчивости и других важных аспектах жизнедеятельности, что незамедлительно сказывается и на общем восприятии субъективной картины мира в целом.

**Список литературы**

1. Алишев Б.С. Мозг, сознание и свобода воли // Ученые записки Казанского университета. Серия: гуманитарные науки. 2012. Т. 154. Кн. 6. С. 211–223.
2. Арден Д. Укрощение амигдалы и другие инструменты тренировки мозга. М.: ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2016. 310 с.
3. Барнард Н. Питание для мозга. Эффективная пошаговая методика для усиления эффективности работы мозга и укрепления памяти. М.: ООО «Издательство «Эксмо», 2014. 304 с.
4. Гейдж Ф., Муотри Э. Биохимия уникальности // В мире науки. 2012. № 5. С. 4–11.
5. Дубровский Д.И. Проблема «сознание и мозг»: информационный подход // Знание. Понимание. Умение. 2013. № 4. С. 92–98.
6. Матюшкин Д.П. О возможных нейрофизиологических основах природы внутреннего «Я» человека // Физиология человека. 2007. Т. 33. № 6. С. 50–59.
7. Перлмуттер Д., Лоберг К. Еда и мозг. Что углеводы делают со здоровьем, мышлением и памятью. М.: ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2014. 460 с.
8. Лужковская Ю. Диета для работы мозга. СПб.: Питер, 2010. 224 с.
9. Методика оценки самоорганизации деятельности. Психодиагностика управления временем [Электронный ресурс]. URL: <https://hr-portal.ru/tool/metodika-ocenki-samoorganizacii-deyatelnosti-psihiadiagnostika-upravleniya-vremenem> (дата обращения: 20.06.2019).
10. Тест для диагностики самочувствия, активности и настроения (САН) [Электронный ресурс]. URL: <https://hr-portal.ru/tool/test-dlya-diagnostiki-samochuvstviya-aktivnosti-i-nastroeniya-san> (дата обращения: 20.06.2019).

УДК 618.3-06:504.75.05(575.2-25)

## СОМАТИЧЕСКАЯ ПАТОЛОГИЯ И ОСЛОЖНЕНИЯ ГЕСТАЦИИ У ЖЕНЩИН ГОРОДА БИШКЕКА: ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РИСКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Самигуллина А.Э., Торегельдиева Ч.Б., Назаралиева С.Б.

*Национальный центр охраны материнства и детства Министерства здравоохранения  
Кыргызской Республики, Бишкек, e-mail: samigullina.68@mail.ru*

Оценка потенциальных рисков влияния экосистемы на здоровье беременных женщин является актуальным и перспективным направлением для научных исследований, а отсутствие в последнее десятилетие работ данного направления в Кыргызской Республике диктует необходимость продолжения изучения данного вопроса. На базе клинического родильного дома НЦОМид проведено исследование, посвященное изучению прогностической значимости экологических рисков в развитии осложнений гестации у женщин г. Бишкека. Объектом исследования были 403 беременные женщины, постоянные жительницы г. Бишкека. В результате оценки соматической патологии и осложнений гестации у беременных женщин выявлено, что в условиях более выраженного экологического неблагополучия статистически значимо чаще встречалась экстрагенитальная патология (192,6%), чем в группе сравнения (86,5%),  $t = 44,2$ ,  $p < 0,001$ . Также у них в 2,2 раза чаще были выявлены осложнения гестации (97,0%), чем в группе сравнения (46,5%),  $t = 13,7$ ,  $p < 0,001$ . Оценка экологических рисков развития соматической патологии у женщин выявила относительный риск от  $RR = 1,7$  до  $RR = 9,6$ , добавочный риск от  $AR = 2,9$  до  $AR = 27,7$ . Этиологическая доля риска со значимой обусловленностью характерна для: болезней мочеполовой системы ( $EF = 89,6\%$ ), болезней кожи и подкожной клетчатки ( $EF = 79,6\%$ ), болезней костно-мышечной системы ( $EF = 79,6\%$ ), органов пищеварения ( $EF = 66,7\%$ ). Относительный риск в развитии осложнений беременности колеблется от  $RR = 1,8$  до  $RR = 2,8$ , добавочный риск от  $AR = 15,5$  до  $AR = 23,0$ . Высокая степень обусловленности доказана для угрозы невынашивания беременности до 12 недель ( $EF = 64,5\%$ ) и поздних гестозов ( $EF = 63,9\%$ ). Таким образом, доказана статистически значимая роль неблагополучия экосистемы в формировании и развитии патологии в репродуктивном потенциале женщин.

**Ключевые слова:** беременные женщины, соматическая патология, осложнения гестации, относительный риск, добавочный риск, этиологическая доля

## SOMATIC PATHOLOGY AND COMPLICATIONS OF GESTATION IN BISHKEK WOMEN: THE PREDICTIVE SIGNIFICANCE OF RISKS OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION

Samigullina A.E., Toregeldieva Ch.B., Nazaralieva S.B.

*National Center for Maternal and Child Welfare of the Ministry of Health of the Kyrgyz Republic,  
Bishkek, e-mail: samigullina.68@mail.ru*

Assessing the potential risks of an ecosystem's impact on the health of pregnant women is an important and promising area for research, and the lack of work in this area in the Kyrgyz Republic over the past decade dictates the need to continue to study this issue. On the basis of the clinical maternity hospital, a study was conducted devoted to the study of the predictive significance of environmental risks in the development of gestational complications in women in Bishkek. The object of the study was 403 pregnant women, permanent residents of Bishkek. As a result of the assessment of somatic pathology and complications of gestation in pregnant women, it was revealed that under conditions of more pronounced environmental distress, extragenital pathology was statistically significantly more frequent (192.6%) than in the comparison group (86.5%),  $t = 44.2$ ,  $p < 0.001$ . They also 2.2 times more often had gestation complications (97.0%) than in the comparison group (46.5%),  $t = 13.7$ ,  $p < 0.001$ . The assessment of the environmental risks of the development of somatic pathology in women revealed a relative risk from  $RR = 1.7$  to  $RR = 9.6$ , an additional risk from  $AR = 2.9$  to  $AR = 27.7$ . The etiological share of risk with significant dependence is characteristic of: diseases of the urogenital system ( $EF = 89.6\%$ ), diseases of the skin and subcutaneous tissue ( $EF = 79.6\%$ ), diseases of the musculoskeletal system ( $EF = 79.6\%$ ), organs digestion ( $EF = 66.7\%$ ). The relative risk in the development of pregnancy complications ranges from  $RR = 1.8$  to  $RR = 2.8$ , the incremental risk from  $AR = 15.5$  to  $AR = 23.0$ . A high degree of conditionality has been proven for the threat of miscarriage up to 12 weeks of pregnancy ( $EF = 64.5\%$ ) and late gestosis ( $EF = 63.9\%$ ). Thus, the statistically significant role of ecosystem distress in the formation and development of pathology in the reproductive potential of women has been proved.

**Keywords:** pregnant women, somatic pathology, complications of gestation, relative risk, additional risk, etiological share

Репродуктивное здоровье является важнейшей частью популяционного здоровья, от которого зависит качество воспроизводства населения. В современном мире отчетливо осознается, что от здоровья женщины, ее адаптационных возможностей зависит здоровье последующих поколений, и неблагополучие в ее организме становится сла-

бым звеном, способствующим снижению возможностей зачатия и вынашивания здоровых детей [1].

Многофакторность и разновекторность причин, обуславливающих уровень репродуктивного здоровья женщин, диктует необходимость проведения комплексной оценки природно-климатических, экономических,

социально-бытовых, культурно-этнических и физических факторов. Однако мнение мировых исследователей схоже в важности воздействия факторов внешней среды на качество жизни современной женщины. Исследования последних лет указывают на общетоксическое действие загрязнителей атмосферного воздуха на здоровье женщины, вызывая в организме неспецифические общие эффекты, которые обуславливают развитие анемий, гипертензивных состояний, угрозы невынашивания беременностей, аномалий родовой деятельности и увеличивают уровень перинатальных потерь [2].

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что организм современной женщины сталкивается с воздействием новых химических веществ, к которым эволюционно не выработалась адаптация, а на генетическом уровне не закрепились система защиты, в результате чего появляются патологические изменения в слабейшем структурно-функциональном звене популяции [3].

Направленность медицины последних лет на оценку рисков неблагоприятия, методов прогнозирования и выявление количественной зависимости между показателями заболеваемости и уровнем длительного воздействия загрязнителей воздуха, негативно влияющих на здоровье населения открывает новые возможности для исследователей [4].

Альтернативой существующему нормативному подходу оценки потенциального вреда загрязняющих веществ экосистемы для здоровья населения является концепция риска, которая количественно доказывает уровень риска потенциально вредных для здоровья веществ, который никогда не бывает равен нулю. Концепция риска состоит из двух элементов – оценка риска и управление им [5, 6].

Исследования, посвященные оценке рисков экологического неблагоприятия в развитии осложнений гестации и соматической патологии у женщин различных зон постоянного проживания в г. Бишкеке представляются весьма актуальными для Кыргызской Республики и представляют научный и практический интерес.

Цель исследования: изучить прогностическую значимость экологических рисков в развитии осложнений гестации у женщин г. Бишкека.

#### Материалы и методы исследования

Проведено когортное неослепленное исследование на базе клинического родильного дома НЦОМиД МЗ КР.

Оценка загрязнителей атмосферного воздуха в различных районах г. Бишкека, была проведена по данным семи постов на-

блюдения и мониторинга ГАООСиЛХ, после чего выбраны 2 зоны: зона 1 – центр столицы и зона 2 – южная/предгорная часть города.

При оценке уровней загрязнителей воздуха за 2016–2018 гг. выявлено, что зона 1 является статистически значимо более неблагоприятной, чем зона 2, предельно допустимые концентрации загрязнителей составили: диоксид азота –  $2,25 \pm 0,07$  и  $1,25 \pm 0,02$ ,  $t = 13,7$ ,  $p < 0,001$ , оксид азота –  $2,80 \pm 0,01$  и  $1,20 \pm 0,01$ ,  $t = 111,7$ ,  $p < 0,001$ , диоксид серы –  $0,024 \pm 0,001$  и  $0,021 \pm 0,001$ ,  $t = 2,1$ ,  $p = 0,03$  и формальдегид –  $4,30 \pm 0,26$  и  $2,30 \pm 0,14$ ,  $t = 6,8$ ,  $p < 0,001$ .

Рассчитанные индивидуальные дозы поглощения загрязнителей атмосферного воздуха выявили статистически значимое их превосходство в центральной части города (зона 1),  $p < 0,001$  (табл. 1).

**Таблица 1**

Сравнительная оценка индивидуальной дозы поглощения загрязнителей воздуха в мг/кг массы тела в течение года за период 2009–2018 гг. по г. Бишкек ( $M \pm m$ )

Загрязнитель	Зона 1	Зона 2
Диоксид азота	$3,32 \pm 0,0$	$0,05 \pm 0,0^{***}$
Оксид азота	$2,87 \pm 0,0$	$1,66 \pm 0,0^{***}$
Диоксид серы	$0,35 \pm 0,0$	$0,15 \pm 0,0^{***}$
Формальдегид	$12,80 \pm 0,0$	$3,77 \pm 0,0^{***}$

Примечание. Статистическая значимость различий между группами  $^{***}p < 0,001$ .

Необходимый объем репрезентативной выборки были рассчитаны согласно методике Е.А. Шигана [7] –  $n = 400$ ,  $p < 0,001$ , 99,9%,  $t = 3,2$ , т.е. исследование повышенной точности.

Объект исследования – 403 беременные женщины, постоянные жительницы г. Бишкек, в том числе 203 – основная группа (зона 1) и 200 – группа сравнения (зона 2).

Единица исследования – беременная женщина.

Предмет исследования – соматическая патология и осложнения гестации.

Источником исследования стала первичная информация, собранная авторами при проспективном наблюдении, изучении репродуктивного анамнеза и здоровья, клинико-лабораторных и функциональных обследований беременных женщин.

При обработке полученной в ходе исследования информации применялись статистические величины: абсолютные и относительные ( $P \pm mp$ ). Оценка рисков проведена с помощью расчета относительного риска (RR), доли добавочного риска (AR, %), этиологической доли (EF, %) и регрессионного



анализа – для моделирования влияния пре-дикторов на исход.

Статистически значимая разница между группами оценена коэффициентами Стьюдента и  $\chi^2$ , в качестве значений вероятности безошибочного прогноза были выбраны критерии статической значимости ошибки – менее 5% двусторонняя ( $p < 0,05$ ), при 95% доверительном интервале, и статистической мощности – 80%-ная мощность. Коэффициентом ранговой корреляции Спирмена рассчитана значимость факторов риска. Обработка данных проведена с помощью программного пакета Центра по контролю Заболевваемости США OpenEpi 3.03.

В статье отсутствует потенциальный конфликт интересов.

### Результаты исследования и их обсуждение

Средний возраст обследованных беременных женщин был равен  $25,9 \pm 3,5$  года, в основной группе –  $26,0 \pm 3,2$  года, в группе сравнения –  $25,8 \pm 3,7$  года, статистически значимых различий в группах не установлено,  $p > 0,05$ , колебания возраста беременных женщин, принявших участие в исследовании были от 18 до 39 лет.

В статье представлены данные проспективного наблюдения за особенностями течения беременности и отягощающей соматической патологией у жительниц сравнимых районов г. Бишкека.

В табл. 2 представлены сравнительные данные по частоте выявленной экстрагенитальной патологии обследованных женщин. Обращает на себя внимание высокий уровень экстрагенитальной заболеваемости

у беременных женщин обеих групп, что указывает на слабую работу первичного уровня здравоохранения по прегравидарной подготовке и оздоровлению женщин в ходе планировании беременности.

В основной группе у женщин, проживающих в зоне 1, условиях более выраженного экологического неблагополучия, при высоких показателях загрязнителей атмосферного воздуха, выявлена статистически значимо чаще экстрагенитальная патология (391 женщина – 192,6%), чем в группе сравнения (173 женщины – 86,5%),  $t = 44,2$ ,  $p < 0,001$ .

В структуре патологии первые три ранговых места в обеих группах приходятся на болезни органов дыхания, крови и эндокринной системы.

Однако статистически значимо чаще были выявлены болезни органов дыхания в основной группе (53,7%), чем в группе сравнения (26,0),  $t = 5,9$ ,  $p < 0,001$ , на которые приходится первое ранговое место среди всей структуры экстрагенитальной патологии беременных женщин, т.е. каждая вторая женщина в основной группе во время беременности имела данную патологию, в группе сравнения каждая четвертая. Следует отметить, что анализ самой структуры болезней органов дыхания позволил установить статистически значимое выявление хронических аллергических ринитов, синуситов и бронхитов (у 43 женщин – 39,5%) в основной группе, чем в группе сравнения (у 11 женщин – 21,2%),  $t = 4,7$ ,  $p < 0,001$ . Полученные данные доказывают огромное влияние загрязненного атмосферного воздуха на здоровье беременных женщин как более восприимчивых к их воздействию.

Таблица 2

Ранговая значимость структуры экстрагенитальной патологии у беременных женщин групп наблюдения

Ранг	Болезни (МКБ-10)	Группы				Ранг	t	p
		Основная n = 203		Сравнения n = 200				
		Абс.	P ± mp	Абс.	P ± mp			
	Всего выявлено патологии:	391	192,6 ± 0,0	173	86,5 ± 2,4	I	44,2	< 0,001
I	Болезни органов дыхания	109	53,7 ± 3,5	52	26,0 ± 3,1	I	5,9	< 0,001
II	Болезни крови и кроветворных органов	68	33,5 ± 3,3	36	18,0 ± 2,7	II	3,6	< 0,001
III	Болезни эндокринной системы и обмена веществ	42	20,7 ± 2,8	25	12,5 ± 2,3	III	2,3	0,02
IV	Болезни мочеполовой системы	39	19,2 ± 2,8	4	2,0 ± 1,0	IV	5,8	< 0,001
V	Болезни нервной системы	36	17,7 ± 2,7	19	9,5 ± 2,1	V	2,4	0,01
VI	Болезни органов пищеварения	36	17,7 ± 2,7	12	5,9 ± 1,7	VI	3,7	< 0,001
VII	Болезни системы кровообращения	31	15,5 ± 2,6	17	8,5 ± 2,0	VII	2,1	0,03
VIII	Болезни глаза и его придаточного аппарата	10	4,9 ± 1,5	4	2,0 ± 1,0	VIII	1,6	0,10
IX	Болезни кожи и подкожной клетчатки	10	4,9 ± 1,5	2	1,0 ± 0,7	IX	2,4	0,01
X	Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	10	4,9 ± 1,5	2	1,0 ± 0,7	X	2,4	0,01

Второе ранговое место приходится в обеих группах на болезни крови, которые статистически значимо чаще выявлены у женщин основной группы (68 женщин – 33,5%), нежели в группе сравнения (36 женщин – 18,0%),  $t = 3,6$ ,  $p < 0,001$ . При этом 83,8% (57 женщин) в основной группе приходится на анемию, в группе сравнения 72,2% (26 женщин), относительный показатель, рассчитанный на 100 женщин, позволил выявить статистически значимое различие между группами, так в основной группе он был равен  $28,1 \pm 3,2$ , а в группе сравнения –  $13,0 \pm 2,4$ ,  $t = 3,8$ ,  $p < 0,001$ . Надо отметить, что в основной группе беременность наступила на фоне уже существующей анемии у 23 женщин (33,8%), а в группе сравнения – у 9 женщин (25,0%), что указывает на отсутствие профилактической направленности в первичном звене здравоохранения и низком уровне здоровьесберегающего отношения у женщин планирующих беременность.

Третье ранговое место представлено болезнями эндокринной системы и обмена веществ в обеих группах, но в основной группе статистически значимо чаще (20,7%) группы сравнения (12,5), что в 1,7 раз больше,  $t = 2,3$ ,  $p = 0,02$ . Среди общего числа заболеваний доминирующую роль занимают гипотиреоз и ожирение II и III степени.

Далее в структуре экстрагенитальной патологии ранговые места различны между группами. В основной группе на четвертом ранговом месте болезни мочеполовой системы, выявленные у 39 беременных (19,2%), в группе сравнения на данную патологию приходится седьмое ранговое место (у 4 женщин – 2,0%), статистически значимая разница между группами составила  $t = 5,8$ ,  $p < 0,001$ . Представлена данная патология в 80,0% случаев пиелонефритами в обеих группах, но в основной группе встречаемость данной патологии была выше.

На пятом ранговом месте в основной группе болезни нервной системы (у 36 женщин – 17,7%) и органов пищеварения (у 36 женщин – 17,7%). В группе сравнения болезни нервной системы занимают четвертое ранговое место (у 19 женщин – 9,5%), а на болезни органов пищеварения приходится шестое ранговое место (у 12 женщин – 5,9%). При этом установлена статистически значимо чаще встречаемость болезней нервной системы в основной группе в сравнении с группой сравнения,  $t = 2,4$ ,  $p < 0,01$  и болезней органов пищеварения,  $t = 3,7$ ,  $p < 0,001$ .

Болезни системы кровообращения занимают шестое ранговое место в основной

группе, составляя 15,5% (31 женщина), что статистически значимо чаще группы сравнения (у 17 женщин – 8,5%), в которой на данную патологию приходится пятое ранговое место,  $t = 2,1$ ,  $p < 0,03$ .

Следующее ранговое место в основной группе – седьмое – представлено тремя классами болезней, которые в структуре заболеваемости занимают каждый по отдельности не более 5,0%. Представлены они болезнями глаза, выявленными у 10 беременных (4,9%), однако статистически значимой разницы между группами не установлено, в группе сравнения выявлена данная патология у 4 женщин (2,0%),  $t = 1,6$ ,  $p = 0,1$ . Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани представлены 4,9% в основной группе, что статистически значимо чаще группы сравнения – 1,0%,  $t = 2,4$ ,  $p = 0,01$ . Болезни кожи и подкожной клетчатки выявлены у 4,9% беременных основной группы, что статистически значимо чаще чем в группе сравнения – 1,0%,  $t = 2,4$ ,  $p = 0,01$ .

Таким образом, экстрагенитальная патология представлена в основной группе болезнями: органов дыхания (53,7%), крови и кроветворных органов (33,5%), эндокринной системы и обмена веществ (20,7%), мочеполовой системы (19,2%), нервной системы (17,7%), органов пищеварения (17,7%), системы кровообращения (15,5%), глаза (4,9%), костно-мышечной системы (4,9%) и болезнями кожи (4,9%).

В группе контроля структура экстрагенитальной патологии представлена болезнями: органов дыхания (26,0%), крови и кроветворных органов (18,0%), эндокринной системы (12,5%), нервной системы (9,5%), системы кровообращения (8,5%), органов пищеварения (5,9%), мочеполовой системы (2,0%), глаза (2,0%), костно-мышечной системы (1,0%) и болезнями кожи (1,0%).

Информация о сравнительной оценке частоты акушерских осложнений гестации у женщин групп сравнения, проживающих в разных районах г. Бишкека, представлена в табл. 3. Оценка выявленных осложнений указывает на высокую частоту акушерской патологии, выявленной в обеих группах женщин постоянных жительниц г. Бишкека. Однако статистически значимо чаще данная патология была зарегистрирована у женщин основной группы (зона 1 – экологического неблагополучия) – у 197 беременных (97,0%), чем женщин группы сравнения (93 женщины – 46,5%),  $t = 13,7$ ,  $p < 0,001$ , полученные данные указывают, что в 2,2 раза чаще встречалась данная патология у женщин основной группы.

Наиболее значимой среди выявленной патологии была угроза невынашивания беременности, выявленная в основной группе у 71 женщины, что составило 35,0% из общего числа женщин данной группы, что в 1,8 раз больше группы сравнения (39 беременных – 19,5%),  $t = 3,5, p < 0,001$ . В структуре невынашивания беременности у женщин основной группы 88,7% приходится на угрозу невынашивания беременности при сроках до 12 недель, в группе сравнения – 56,4%, выявлена статистически значимая разница в группах,  $t = 5,0, p < 0,001$ .

Также беременность в обеих группах осложнилась поздними гестозами, однако в основной группе статистически значимо чаще (у 73 беременных – 36,0%) группы сравнения (у 26 женщин – 13,0%),  $t = 5,5, p < 0,001$ . Осложнилась беременность поздними гестозами в основной группе в 2,8 раз чаще, чем в группе сравнения. Кроме того статистически значимо чаще в основной группе выявлялись ИППП (26,1%), чем в группе сравнения (14,0%),  $t = 3,0, p = 0,002$ .

Полученные данные указывают на высокий уровень акушерских осложнений в группе беременных женщин, проживаю-

щих в центре города, в сравнении с группой женщин, проживающих в южной части в зоне экологического благополучия.

Таким образом, наиболее частыми акушерскими осложнениями гестации у беременных женщин были: угроза прерывания беременности, поздние гестозы и ИППП.

На основе полученных данных нами были рассчитаны экологические риски вероятности возникновения соматической патологии и осложнений гестации у беременных женщин за счет воздействия загрязнителей атмосферного воздуха г. Бишкека, с целью разработки рекомендаций управления рисками была проведена их сравнительная оценка и ранжирование с определением уровней приемлемости рисков.

Оценка экологических рисков развития соматической патологии у женщин, проживающих в условиях экологически неблагоприятного центра столицы, выявила статистически значимый относительный риск, который колебался для разных нозологий от  $RR = 1,7$  до  $RR = 9,6$  (табл. 4).

Данная тенденция характерна и для доли добавочного риска, которая составила от  $AR = 2,9$  до  $AR = 27,7$ .

Таблица 3

Частота акушерских осложнений течения гестации у женщин сравниваемых групп г. Бишкека

Виды осложнений	Группы				t	p
	Основная n = 203		Сравнения n = 200			
	Абс.	P ± mp	Абс.	P ± mp		
Всего осложнений гестации:	197	97,0 ± 1,2	93	46,5 ± 3,5	13,7	< 0,001
Угроза невынашивания беременности:	71	35,0 ± 3,4	39	19,5 ± 2,8	3,5	< 0,001
в том числе до 12 недель	63	31,0 ± 3,3	22	11,0 ± 2,2	5,0	< 0,001
Поздние гестозы	73	36,0 ± 3,4	26	13,0 ± 2,4	5,5	< 0,001
ИППП	53	26,1 ± 3,1	28	14,0 ± 2,5	3,0	0,002

Таблица 4

Прогностическая значимость хронического воздействия экотоксинов в развитии экстрагенитальной патологии

Риск-фактор	R1	R2	RR	AR, %	EF, %
Болезни эндокринной системы и обмена веществ	20,7	12,5	1,7	8,2	39,6
Болезни системы кровообращения	15,5	8,5	1,8	7,0	45,2
Болезни крови и кроветворных органов	33,5	18,0	1,9	15,5	46,3
Болезни нервной системы	17,7	9,5	1,9	8,2	46,3
Болезни органов дыхания	53,7	26,0	2,1	27,7	51,6
Болезни глаза и его придаточного аппарата	4,9	2,0	2,5	2,9	59,2
Болезни органов пищеварения	17,7	5,9	3,0	11,8	66,7
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	4,9	1,0	4,9	3,9	79,6
Болезни кожи и подкожной клетчатки	4,9	1,0	4,9	3,9	79,6
Болезни мочеполовой системы	19,2	2,0	9,6	17,2	89,6

При этом этиологическая доля риска с почти плотной обусловленностью характерна только для болезней мочеполовой системы (EF = 89,6%). Выявлена очень высокая степень обусловленности для болезней кожи и подкожной клетчатки (EF = 79,6%) и болезней костно-мышечной системы (EF = 79,6%). Высокой степень обусловленности была для болезней: органов пищеварения (EF = 66,7%), глаза (EF = 59,2%) и органов дыхания (EF = 51,6%). Средней степенью обусловленности были болезни: крови и кроветворных органов (EF = 46,3%), нервной системы (EF = 46,3%), системы кровообращения (EF = 45,2%) и эндокринной системы (EF = 39,6%).

Далее в исследовании рассмотрена роль экологического неблагополучия на развитии осложнений беременности (табл. 5); как видно из таблицы, относительный риск колеблется от RR = 1,8 до RR = 2,8, подчеркивая важность развития события от места проживания беременной женщины.

Обращает на себя внимание высокий уровень добавочного риска, которой представлен от AR = 15,5 до AR = 23,0, и в среднем равен AR = 17,7%.

Высокая степень обусловленности доказана для угрозы невынашивания беременности до 12 недель (EF = 64,5%) и поздних гестозов (EF = 63,9%), средняя для ИППП (EF = 46,4%) и угрозы невынашивания беременности в различные сроки гестации (EF = 44,3%).

**Таблица 5**

Прогностическая значимость хронического воздействия экотоксинов в развитии осложнений гестации

Риск-фактор	R1	R2	RR	AR, %	EF, %
Угроза НБ до 12 недель	31,0	11,0	2,8	20,0	64,5
Поздние гестозы	36,0	13,0	2,8	23,0	63,9
ИППП	26,1	14,0	1,9	12,1	46,4
Угроза НБ	35,0	19,5	1,8	15,5	44,3

Таким образом, оценка результатов математического анализа экологических рисков отмечает высокую степень зависимости частоты и характера патологии репродуктивной функции у беременных женщин, проживавших в районе экологического неблагополучия, от уровня загрязнителей атмосферного воздуха в нем.

#### Выводы

Таким образом, оценка соматической патологии и осложнений гестации беременных женщин, проживающих в двух зонах г. Бишкека, с различной степенью загряз-

нителей атмосферного воздуха позволила установить, что:

1. В условиях более выраженного экологического неблагополучия выявлена статистически значимо чаще экстрагенитальная патология (391 женщина – 192,6%), чем в группе сравнения (173 женщин – 86,5%),  $t = 44,2$ ,  $p < 0,001$ .

2. Статистически значимо чаще были выявлены болезни: органов дыхания,  $t = 5,9$ ,  $p < 0,001$ , мочеполовой системы,  $t = 5,8$ ,  $p < 0,001$ , органов пищеварения,  $t = 3,7$ ,  $p < 0,001$ , болезни крови и кроветворных органов,  $t = 3,6$ ,  $p < 0,001$ , нервной системы,  $t = 2,4$ ,  $p < 0,01$ , костно-мышечной системы и соединительной ткани,  $t = 2,4$ ,  $p = 0,01$ , кожи и подкожной клетчатки,  $t = 2,4$ ,  $p = 0,01$ , эндокринной системы и обмена веществ,  $t = 2,3$ ,  $p = 0,02$ , системы кровообращения,  $t = 2,1$ ,  $p < 0,03$  и глаза,  $t = 1,6$ ,  $p = 0,1$ .

3. Оценка выявленных осложнений указывает на высокую частоту акушерской патологии, выявленной в обеих группах женщин, постоянных жительниц г. Бишкека. Однако статистически значимо чаще данная патология была зарегистрирована у женщин основной группы (97,0%), чем в группе сравнения (46,5%),  $t = 13,7$ ,  $p < 0,001$ , в основной группе в 2,2 раза чаще.

4. Наиболее значимой была угроза невынашивания беременности,  $t = 3,5$ ,  $p < 0,001$ , в ее структуре в основной группе 88,7% приходится на угрозу невынашивания беременности с роках до 12 недель, в группе сравнения – 56,4%,  $t = 5,0$ ,  $p < 0,001$ .

5. Беременность у женщин обеих групп также осложнилась поздними гестозами, в основной группе (36,0%), в группе сравнения (13,0%),  $t = 5,5$ ,  $p < 0,001$ , что в 2,8 раз чаще группы сравнения, ИППП в основной группе (26,1%), в группе сравнения (14,0%),  $t = 3,0$ ,  $p = 0,002$ .

6. Оценка экологических рисков развития соматической патологии у женщин, проживающих в условиях экологически неблагоприятного центра столицы, выявила статистически значимый относительный риск, который колебался для разных нозологий от RR = 1,7 до RR = 9,6. Данная тенденция характерна и для доли добавочного риска, которая составила от AR = 2,9 до AR = 27,7.

7. Этиологическая доля риска со значимой обусловленностью характерна для: болезней мочеполовой системы (EF = 89,6%), болезней кожи и подкожной клетчатки (EF = 79,6%), болезней костно-мышечной системы (EF = 79,6%), органов пищеварения (EF = 66,7%), глаза (EF = 59,2%) и органов дыхания (EF = 51,6%), крови и кроветворных органов (EF = 46,3%), нервной системы (EF = 46,3%), системы кровообра-



щения (EF = 45,2%) и эндокринной системы (EF = 39,6%).

8. Относительный риск экологического неблагополучия в развитии осложненной беременности колеблется от RR = 1,8 до RR = 2,8 и высокий уровень добавочного риска представлен от AR = 15,5 до AR = 23,0. Высокая степень обусловленности доказана для угрозы невынашивания беременности до 12 недель (EF = 64,5%) и поздних гестозов (EF = 63,9%), средняя для ИППП (EF = 46,4%) и угрозы невынашивания беременности в различные роки гестации (EF = 44,3%).

Полученные в ходе исследования данные подтверждают статистически значимую обусловленность загрязнителей атмосферного воздуха в снижении репродуктивного потенциала женщин, а стратегия управления рисками должна быть направлена на совершенствование системы мониторинга чистоты воздуха и внедрение на всех уровнях здравоохранения значимых мер профилактики.

### Список литературы

1. Григорьев Ю.А. Современное состояние репродуктивного здоровья населения Сибири как фактор сокращения рождаемости в регионе // Регион: экономика и социология. 2013. № 2 (78). С. 215–236.
2. Алпынбекова Г.К., Шаденова А.Ж., Тебенова К.С., Калиева И.А., Шокабаева А.С., Рымханова А.Р., Мусеева Г.Н. Воздействие загрязнения окружающей среды как фактор риска для здоровья населения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 3. С. 1–9.
3. Иванова Э.В., Финченко С.Н. Оценка риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих атмосферу. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. 54 с.
4. ВОЗ. Качество атмосферного воздуха и здоровье // Информационный бюллетень ВОЗ. 2018.
5. Голиков Р.А., Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) // Научное обозрение. Медицинские науки. 2017. № 5. С. 20–31.
6. Медведева С.А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки // XXI век техносферная безопасность. 2016. № 1. С. 67–81.
7. Чернова Н.Е. Медицинская статистика: учеб. пособие. Бишкек, 2006. 23 с.

УДК 615.32(470.324)

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ НЕОМЫЛЯЕМЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
МАСЕЛ АВОКАДО И СОЕВЫХ БОБОВ НА ОСНОВЕ ПРЕПАРАТА  
«ПИАСКЛЕДИН 300». ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕН  
НА ДАННЫЙ ПРЕПАРАТ В АПТЕКАХ ГОРОДА ВОРОНЕЖА**

**Семёнова Е.В., Васищева Е.Б., Номоконова Е.О.**

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»,  
Воронеж, e-mail: maluzhenko@gmail.com*

В данной статье представлены сведения о свойствах препарата «Пиаскледин 300», который состоит из смеси неомыляемых соединений масел авокадо и соевых бобов. Являясь лекарственным препаратом растительного происхождения, он не влечёт за собой побочных эффектов и в связи с этим может применяться пожилой категорией людей. Данный препарат используется в лечении остеоартрита и остеоартроза. Механизм его действия связан со свойствами неомыляемых соединений понижать перекисное окисление липидов, тем самым снижая разрушение хряща, и также стимулировать секрецию коллагена, что приводит к восстановлению хрящевой ткани и уменьшению болевого синдрома. К сожалению, данный препарат имеет достаточно высокую цену, в связи с чем далеко не все способны его приобрести, особенно пожилые, которые чаще болеют остеоартритом и остеоартрозом, чем молодые или дети, и именно для них он является достаточно нужным. Также в связи с отсутствием рекламной кампании и просветительской работы препарат является малоизвестным. В г. Воронеже данный препарат доступен для покупки, но цены на него являются достаточно высокими как в обычных аптеках, так и в интернет-аптеках.

**Ключевые слова:** неомыляемые соединения масел авокадо и соевых бобов, «Пиаскледин 300», остеоартрит, перекисное окисление липидов, боль, цена, аптека

**STUDYING ABOUT PROPERTIES OF AVOCADO  
AND SOYA BEANS UNSAPONIFIABLE OIL BASED ON MEDICINE  
«PIASKLEDINE 300». RESEARCH OF PRICES FOR THIS MEDICATION  
IN THE PHARMACIES OF VORONEZH CITY**

**Semenova E.V., Vasisheva E.B., Nomokonova E.O.**

*Voronezh State Medical University n.a. N.N. Burdenko, Voronezh, e-mail: maluzhenko@gmail.com*

This article provides information about the characteristic of the drug «Piaskledine 300» which consists of the mixture of unsaponifiable oils of avocado and soya beans. Being the drug of vegetable origin, it does not induce any side effects, thereby it can be used by elderly people. This drug is used in therapy of osteoarthritis and osteoarthrosis. The mechanism of action of this drug is based on properties of unsaponifiable oils to decrease lipid peroxidation, therefore it reduces cartilago destruction and also stimulates the collagen secretion, which leads to the recovery of the cartilago tissue and reducing of the pain syndrome. This drug is used in therapy of osteoarthritis and osteoarthrosis. The mechanism of action of this drug is based on properties of unsaponifiable oils to decrease lipid peroxidation, therefore it reduces cartilago destruction and also stimulates the collagen secretion, which leads to the recovery of the cartilago tissue and reducing of the pain syndrome. Unfortunately, this drug is of a fairly high price and according to that not everybody can afford it, especially elderly people who are prone to have osteoarthritis and osteoarthrosis more than younger people and children, that is why this drug is quite necessary for them. Moreover due to the lack of proper advertising and educational arrangements this drug has been remaining little known to the general public. This drug is available for purchase in Voronezh city, but the prices are also high both in ordinary pharmacy and in pharmacy-online.

**Keywords:** unsaponifiable oils of avocado and soya beans, «Piaskledine 300», osteoarthritis, lipid peroxidation, pain, price, pharmacy

Лекарственные растительные препараты имеют ряд преимуществ в сравнении с их синтетическими аналогами. В ходе своего эволюционного развития животные сосуществовали с растениями и использовали их в качестве пищи. Чтобы получить действующие вещества напрямую из растений, животный организм подстраивался под их метаболизм и формировал рецепторы, чувствительные к определённым веществам. В связи с этим наш организм более

восприимчив к растительным препаратам, нежели к синтетическим. Несмотря на колоссальный прогресс в области фармацевтической химии, биохимии, физиологии и наличия огромного спектра синтетических препаратов, многие из них по силе, продолжительности действия и выраженности побочных эффектов уступают препаратам из лекарственных растений. Лекарственный препарат «Пиаскледин 300» является препаратом растительного про-

исхождения, в его состав входят неомыляемые соединения масел авокадо и соевых бобов, используется в лечении остеоартрита и остеоартроза. В данной статье представлены сведения о химическом составе масел, входящих в состав лекарственного препарата, механизм его действия на хрящевую ткань и цены и наличие данного препарата в аптеках, аптечных организациях и интернет-аптеках г. Воронежа.

Цель исследования: провести анализ химического состава масел авокадо и сои, изучить свойства препарата «Пиаскледин 300» в лечении остеоартрита и остеоартроза и провести анализ цен на данный препарат в г. Воронеже в аптеках, аптечных сетях и интернет-аптеках.

#### Материалы и методы исследования

Исследование химического состава масел и свойств препарата проводилось путём изучения литературы, материалов интернета. Исследование цен на лекарственный препарат в аптеках, аптечных организациях и интернет-аптеках исследовались эмпирически.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Масло авокадо имеет большой состав. Неомыляемая фракция масла содержит: альфа- и бета-каротины, гидрокси-альфа-каротин, лютеин, лецитин, витамины С, D, К, РР, группы В, биотин, токоферолы (альфа токоферол – 84,9%, гамма-токоферол – 15,1%), фитостеролы (бета-ситостерол – 88,3%, дельта-5-авенастерол – 3,5%, дельта-7-авенастерол – 0,5%, кампестерол – 5,6%, стигмастерол – 0,5%, холестерол – 0,3%), хлорофилл, сквален, микроэлементы: калий, фосфор, магний, сера, кальций, натрий, медь.

Помимо того, что оно входит в состав препарата «Пиаскледин 300», масло авокадо широко применяется в косметологии:

- восстанавливает эластичность кожи, питает волосы, восстанавливает их эластичность;
- предотвращает выпадение и ломкость волос;
- укрепляет и стимулирует рост ногтей;
- его используют в лечении кожных заболеваний, таких как экзема, атопический дерматит, псориаз, грибок, лишай, себорейный дерматит, акне, трофические язвы;
- для ускорения заживления ожогов, пролежней и обморожений.

К сожалению, у масла авокадо есть ряд противопоказаний:

- беременность и период лактации;
- непереносимость аромата продукта (может вызывать головные боли);

– нельзя смешивать с маслами, в состав которых входит скипидар;

– нельзя наносить на кожу перед выходом на солнце, так как есть риск получения солнечного ожога.

Масло сои в своём составе имеет витамины E1, С, Е, лецитин. В жирнокислотном составе преобладают линолевая, альфа-линоленовая, олеиновая, пальмитиновая, стеариновая кислоты. Оно также используется в косметологии:

- омолаживает кожу, питает её, смягчает;
- очищает кожу, входит в состав средств для снятия макияжа;
- питает и восстанавливает структуру волос.

В данной сфере соевое масло используется не столь широко, как в пищевой промышленности.

Препарат «Пиаскледин 300» (производитель Laboratoires Expanscience, Франция) полностью состоит из растительных компонентов, применяется в комплексной терапии остеоартроза тазобедренных и коленных суставов I – III стадий, и в качестве адьювантной терапии периодонтитов. Остеоартроз – хроническое невоспалительное заболевание суставов неизвестной этиологии, характеризующееся прогрессирующей дегенерацией суставного хряща, структурными изменениями субхондральной кости и сопутствующим реактивным синовитом. Периодонтит – воспаление комплекса тканей, удерживающих зуб. Неомыляемые соединения масел сои, полученного из растения соя культурная (*Glycine max*) [1], и авокадо, полученного из растения персея американская (*Persea americana*) [1], предположительно влияют на уровень антител к окисленным липидам низкой плотности. Данные антитела образуются в ответ на перекисное окисление липидов и являются дополнительными повреждающими агентами к оЛНП [2]. Неомыляемые соединения масел стабилизируют мембраны клеток, тем самым понижая ПОЛ, и на фоне этого происходит замедление разрушения хрящевой ткани суставов. Они снижают спонтанную продукцию хондроцитами стромелизина, интерлейкина-6, интерлейкина-8 и простагландина E2, инактивируют матричные металлопротеиназы, обладают анаболическим эффектом, стимулируя выработку трансформирующего фактора роста P1 и ингибитора активатора плазминогена суставными хондроцитами. Также они стимулируют синтез коллагена в суставных хондроцитах и уменьшают болевой синдром. Остеоартрит – не просто заболевание, связанное с нарушениями морфофункционального

состояния суставов, а также и нарушение обмена веществ, при котором развиваются метаболические расстройства, способствующие возникновению и прогрессированию системного патологического процесса. Развитие остеоартрита связано также с таким заболеванием, как сахарный диабет [3, 4]. Боль в суставе – наиболее частый и выраженный симптом при остеоартрите, носит неоднородный характер. Причинами ее могут быть деструктивные процессы в хрящевых и субхондральных структурах, нарушения микроциркуляции, особенно при затруднении венозного кровотока в спонгиозной части кости, фиброз капсулы сустава, воспалительный процесс в мягких околоуставных тканях, спазм близлежащих мышц и реактивный синовит. Боль купируется приемами НПВП. Применение препарата «Пиаскледин 300» в течение длительного промежутка времени позволило существенно снизить болевой синдром и, соответственно, сократить потребность больных в НПВП. Считается, что масла авокадо и сои работают как синергисты, если пропорция таковых составляет 1:2 [5]. Особое внимание следует уделить тому, что «Пиаскледин 300» не вызывает побочных эффектов и не взаимодействует с другими лекарственными препаратами, что позволяет принимать его пожилым больным без каких-либо последствий.

Несмотря на эффективность препарата в лечении остеоартроза и отсутствие побочных эффектов, он не является популярным в связи с высокой ценой. В основном остеоартрозом страдают люди преклонного возраста, которые не могут себе позволить приобрести «Пиаскледин 300» и предпочитают более дешевые лекарственные средства.

Было проведено исследование цен за препарат «Пиаскледин 300» в популярных аптеках г. Воронежа. В зависимости от расположения аптек, цены на препарат немного колебались, в табл. 1 приведены средние значения. Исследование проводилось в аптеках «Здоровый город» по адресам: Московский проспект 125, Владимира Невского 31Б, бульвар Победы 23Б, Генерала Лизюкова 23А, Шишкова 65, проспект Революции 26/28, Проспект Революции 54, Генерала Лизюкова 56, Московский проспект 20, Кирова 10, Проспект Труда 72, 9-го Января 123, Олеко-Дундича 3, Героев Сибиряков 69, Берёзовая Роща 44, Ломоносова 114/5, Перевёрткина 7, Ленинский проспект 121, Волгоградская 2, Минская 69; «Вита-Экспресс» по адресам Владимира Невского

55А, бульвар Победы 22, Хользунова 15, Генерала Лизюкова 61, Генерала Лизюкова 85, Московский проспект 112, Московский проспект 82, Московский проспект 42, Ленинский проспект 150В, Баррикадная 26, Домостроителей 13, Южно-Моравская 38, Ломоносова 114/8; «Фармия» по адресам Шишкова 146В, 60-й Армии 26, бульвар Победы 26В, проспект Труда 23, Владимира Невского 7, Вайцеховского 17, Комиссаржевской 4, проспект Революции 54, Проспект Патриотов 11, Циолковского 22, Минская 3; «Алоэ» по адресам Московский просп., 129/1, ТРЦ Московский проспект, 1 этаж, Хользунова 35, Мира 2, Фридриха Энгельса 39; «Экона» по адресам Генерала Лизюкова 25, Владимира Невского 31Б, Владимира Невского 15, Генерала Лизюкова 85, Московский проспект 54; «Будь Здоров!» по адресам Генерала Лизюкова 16, Владимира Невского 15, Владимира Невского 7, Московский проспект 54, Беговая 2/3, Проспект труда 25. Как видно из таблицы, самая высокая цена на данный препарат в аптеках «Здоровый город», а самая низкая – в аптеках «Вита-Экспресс». Разница цен в 305.66 рублей является весьма ощутимой, особенно для пожилых. На момент проведения исследования препарат не везде был в наличии. Его не было в аптеках «Здоровый город» по адресам: бульвар Победы 23Б, Шишкова 65, Героев Сибиряков 69, Берёзовая Роща 44, Ломоносова 114/5, Ленинский проспект 121; «Фармия» по адресам: Шишкова 146В, 60-й Армии 26, проспект Труда 23, Проспект Патриотов 11, Минская 3. Следует отметить, что в аптеках «Фармия», где препарата не было в наличии, его предлагали заказать за 1382 рубля с предоплатой в 200 руб. Во всех остальных аптеках такого предложения не было.

**Таблица 1**

Цены за препарат «Пиаскледин 300» в популярных аптечных сетях г. Воронежа

Название аптечной сети	Цена (руб.)
«Здоровый город»	1521.66
«Вита-Экспресс»	1229.00
«Фармия»	1266.42
«Алоэ»	1300.00
«Экона»	1244.00
«Будь здоров!»	1268.00

В связи с тем, что сейчас у людей достаточно интенсивный ритм жизни, большинство не успевает заходить в аптеки,



или не может ходить и искать цену «подешевле». Больным остеохондрозом особенно тяжело, так как из-за болей в суставах передвигаться очень некомфортно. Поэтому сейчас популярны интернет-аптеки. Люди могут не выходя из дома или на работе зайти на сайты аптек, сравнить цены, самостоятельно прочитать инструкцию к препарату, которая выложена в сеть. Также есть возможность выбрать дозировки препаратов, лекарственные формы, ввести в поиск название действующего вещества и посмотреть возможные варианты торговых названий различных фармкомпаний, цены. Препарат «Пиаскледин 300» есть в интернет-аптеках в свободном доступе, любой человек может его заказать. В табл. 2 приведены цены на этот лекарственный препарат в разных популярных интернет-аптеках. Как видно из таблицы, самая высокая цена в интернет-аптеке «Здоровый город», а самая низкая в интернет-аптеке «Вита-Экспресс». Разница составляет 298.60 руб. Поэтому выгодней всего заказывать данный препарат в интернет-аптеке «Вита-Экспресс». Но, так как это интернет-аптеки, необходимо также учитывать такой показатель, как срок доставки препарата. Он является достаточно важным критерием для больных, которым препарат нужен срочно. В табл. 3 представлены сроки доставки препаратов, заказанных через интернет-аптеки в городе Воронеже. Судя по информации из табл. 3, наиболее удобной является интернет-аптека «Здоровый город», так как нужный лекарственный препарат доставляется курьером круглосуточно, а наиболее неудобными для покупателя являются аптеки с самовывозом, так как некоторые люди не могут сами прийти в аптеку и получить нужный препарат.

**Таблица 2**  
Цены на препарат «Пиаскледин 300»  
в интернет-аптеках

Название интернет-аптеки	Цена (руб.)
«Аптека.ру»	1316.93
«Пиллоли.ру»	1256.00
«Здравсити.ру»	1273.00
«Мелодия здоровья»	–
«Ригла»	1259.00
Интернет-аптека «Здоровый город»	1514.60
Интернет-аптека «Вита-Экспресс»	1216.00
Интернет-аптека «Фармия»	1243.00
Интернет-аптека «Бережная аптека»	1244.00

**Таблица 3**  
Сроки доставки лекарственных препаратов,  
заказываемых через интернет-аптеки  
в г. Воронеже

Название интернет-аптеки	Сроки доставки
«Аптека.ру»	1–2 дня
«Пиллоли.ру»	5–10 дней
«Здравсити.ру»	На следующий рабочий день после заказа
«Мелодия здоровья»	Информация о доставке не указана
«Ригла»	Самовывозом – через 2 ч после оформления, доставкой – до 3 дней
Интернет-аптека «Здоровый город»	Курьером, доставка круглосуточно
Интернет-аптека «Вита-Экспресс»	Получить заказ можно в выбранный день при оформлении
Интернет-аптека «Фармия»	Самовывоз
Интернет-аптека «Бережная аптека»	Самовывоз

Так как аптечная сеть «Здоровый город» является самой популярной аптечной сетью г. Воронежа, в табл. 4 приведены цены на лекарственный препарат «Пиаскледин 300» в аптеках данной сети.

**Таблица 4**  
Цены на лекарственный препарат  
«Пиаскледин 300» в аптеках сети  
«Здоровый город»

Адрес аптеки	Цена (руб.)
Московский проспект 125	1541.50
Владимира Невского 31Б	1612.00
бульвар Победы 23Б	Нет в наличии
Генерала Лизюкова 23А	1446.00
Шишкова 65	Нет в наличии
Проспект Революции 26/28	1580.00
Проспект Революции 54	1580.00
Генерала Лизюкова 56	1581.00
Московский проспект 20	1580.00
Проспект Труда 72	1524.00
9-го Января 123	1486.00
Кирова 10	1334.80
Олеко-Дундича 3	1500.00
Героев Сибиряков 69	Нет в наличии
Берёзовая Роща 44	Нет в наличии
Ломоносова 114/5	Нет в наличии
Перевёрткина 7	1472.60
Ленинский проспект 121	Нет в наличии
Волгоградская 2	1483.00
Минская 69	1583.00

### Выводы

Дальнейшее исследование свойств неомыляемых соединений масел авокадо и сои является перспективным в связи с ростом числа больных остеоартрозом. Также следует повысить доступность препарата для более широкой аудитории. Это следует сделать путём запуска рекламы и, по возможности, снижением цен, так как далеко не все могут позволить себе приобрести данный препарат. В аптеках, аптечных сетях и интернет-аптеках г. Воронежа данный препарат в наличии, что, конечно же, является огромным плюсом для больных остеоартрозом, так как не надо ждать препарат из другого города.

### Список литературы

1. ГОСТ ИСО 5507-2012. Семена масличных культур, растительные масла и жиры. Номенклатура. М.: Стандартинформ, 2012. 11 с.
2. Яшина Ю.В. Эффективность применения неомыляемых соединений бобов сои и авокадо при остеоартрозе в зависимости от уровня окисленных липопротеинов низкой плотности сыворотки крови: дис. ... докт. мед. наук. Волгоград, 2012. 30 с.
3. Головач И.Ю., Чипко Т.М., Лазоренко Е.А., Матийко В.Н., Евтушенко И.В., Корочев А.В. Успешное применение неомыляемых соединений авокадо и сои (Пиаскледин 300) у коморбидных пациентов с остеоартритом (клинические наблюдения) // Газета «Новости медицины и фармации». 2016. № 12 (588). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/43819> (дата обращения: 27.06.2019).
4. Головач И.Ю. Патогенетическое обоснование применения препарата пиаскледин в лечении остеоартрита // Международный неврологический журнал. 2015. № 7 (77). С. 124–130.
5. Чичасова Н.В., Алексеева Л.И., Бадокин В.В., Шостак Н.А. Опыт применения неомыляемых соединений авокадо и бобов сои (Пиаскледин) в лечении остеоартроза различной локализации // Российский медицинский журнал № 7 от 10.04. 2014 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rmj.ru/articles/farmakoterapiya/Opyt\\_primeneniya\\_neomylyaemyh\\_soedineniy\\_avokado\\_i\\_bobov\\_soi\\_Piaskledin\\_v\\_lechenii\\_osteartroza\\_razlichnoy\\_lokalizacii/](https://www.rmj.ru/articles/farmakoterapiya/Opyt_primeneniya_neomylyaemyh_soedineniy_avokado_i_bobov_soi_Piaskledin_v_lechenii_osteartroza_razlichnoy_lokalizacii/) (дата обращения: 27.06.2019).

## ОБЗОРЫ

УДК 618.145

**ХРОНИЧЕСКИЙ ЭНДОМЕТРИТ:  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ЛЕЧЕНИЯ,  
НАПРАВЛЕННЫЕ НА СНИЖЕНИЕ РЕПРОДУКТИВНЫХ ПОТЕРЬ****Калинина Н.С., Петров Ю.А.***ФГБОУ «Ростовский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ростов-на-Дону, e-mail: nkalinina484@gmail.com*

В статье представлены данные о хроническом эндометрите, который является одним из главенствующих факторов формирования бесплодия у женщин репродуктивного возраста, особенностях его этиологии и клиники. Стёртое, а порой атипичное течение болезни позволяет создать «вуаль», маскирует заболевание от глаз врача. Все эти аспекты приводят к тому, что женщины обращаются за оказанием помощи уже тогда, когда были совершены попытки экстракорпорального оплодотворения, которые не были увенчаны успехом, либо уже имеется привычное невынашивание беременности. Выделены нюансы, подчеркивающие формирование реакций по типу гиперчувствительности замедленного типа, в связи с антигенной перестройкой слизистой оболочки матки и формирование аутоагрессии как к повреждённым тканям, так и к здоровым. Значительный интерес уделён морфологической характеристике основных макротипов: гиперпластическому, гипопластическому и смешанному, в особенности гипопластическому макротипу. Являясь основной причиной развития так называемого «тонкого» эндометрия, препятствующего нормальной имплантации, наличие гипопластического типа ведёт к ряду репродуктивных потерь. Тем самым обостряется демографическая обстановка в мире и государстве. Рассмотрена информация о перспективном лечении заболевания, которая принесет пользу, повысив эффективность применения ЭКО и вспомогательных репродуктивных технологий.

**Ключевые слова:** хронический эндометрит, матка, беременность, морфологические макротипы, невынашивание

**CHRONIC ENDOMETRITIS: MODERN PRINCIPLES OF TREATMENT  
AIMED TO REDUCE REPRODUCTIVE LOSSES****Kalinina N.S., Petrov Yu.A.***Rostov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, e-mail: nkalinina484@gmail.com*

The article deals with chronic endometritis, which is one of the dominant factors in the formation of infertility in women of reproductive age, the features of its etiology and clinic. Erased, and sometimes atypical course of the disease allows you to create a «veil», masks the disease from the eyes of the doctor. All these aspects lead to the fact that women seek help even when attempts have been made in vitro fertilization, which have not been crowned with success, or already have a habitual miscarriage. Nuances were highlighted that emphasized the formation of reactions by the type of delayed-type hypersensitivity in connection with the antigenic restructuring of the uterine mucosa and the formation of autoaggression both to damaged tissues and to healthy ones. Considerable interest is given to the morphological characteristics of the main macro types: hyperplastic, hypoplastic and mixed, especially the hypoplastic macro type. Being the main reason for the development of the so-called «thin» endometrium, which impedes normal implantation, the presence of a hypoplastic type leads to a number of reproductive losses. This exacerbates the demographic situation in the world and the state. Information on the promising treatment of the disease, which will achieve benefits, increasing the effectiveness of IVF and assisted reproductive technologies, is considered.

**Keywords:** chronic endometritis, uterus, pregnancy, morphological macro types, miscarriage

По предварительным данным Федеральной службы государственной статистики за 2018 г. на территории Российской Федерации наблюдается отрицательный естественный прирост как среди городского населения, так и среди сельского. Таким образом, проблема охраны репродуктивного здоровья граждан несёт особое социально-демографическое значение. Тем самым изучение хронического эндометрита как одного из звеньев формирования ранних репродуктивных потерь становится высоко актуальным.

Цель работы: проанализировать литературу, тема которой посвящена хроническому эндометриту, изучить основы патоморфологии и лечения заболевания.

Хронический эндометрит (ХЭ) – клинико-морфологический синдром, характеризующийся комплексом морфофункциональных изменений эндометрия, которые приводят к нарушению его циклической трансформации и рецепторного аппарата.

ХЭ и трубно-перитонеальный фактор бесплодия (ТПБ) являются одними из главенствующих пунктов в формировании ре-

продуктивных потерь среди женщин фертильного возраста. Интерес к изучению данной темы дополняет факт ятрогенного вмешательства как одного из этиотропных факторов для развития как ХЭ, так и ТПБ [1, 2].

Способствовать генезу ХЭ могут внутриматочные вмешательства, такие как аборт, диагностические выскабливания, постабортное и послеродовое воспаление, гистеросальпингография, использование внутриматочной спирали [3]; нарушение местных и общих иммунных реакций, длительная персистенция агрессивных патогенов в шейке матки и влагалище [4].

Касаясь вопроса этиологии ХЭ, необходимо учитывать роль условно-патогенной микрофлоры (УПМ): *Staphylococcus spp.*, *Escherichia coli*, *Streptococcus spp.*; специфических микроорганизмов: *Chlamidia trachomatis*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Trichomonas vaginalis* и др; вирусов простого герпеса 1-го и 2-го типов [5]. Заключение сессии FIGO (2012 г.) направляет на мысль о существовании аутоиммунной природы заболевания.

ХЭ подразделяется на неспецифический тип [6], когда выявление специфической микрофлоры не произошло – у пациенток с ранее проведённой лучевой терапией, ВИЧ-инфицированных и др., и специфическим, когда в ходе исследования была найдена моно- или мультиинвазия патогенов [7].

В 9–38% случаев ХЭ протекает без клинических проявлений, либо атипично. В целом клиника ХЭ зависит от глубины и масштаба структурных и функциональных изменений [8]. Нередко женщины отмечают маточные кровотечения, перименструальные кровяные выделения, жалобы на тазовые боли [9]. У пациенток могут быть серьезные или гнойные выделения, боли внизу живота, болезненные ощущения во время полового акта. Но основная суть проблемы состоит в том, что большая часть женщин обращается за квалифицированной медицинской помощью лишь тогда, когда появляются проблемы с зачатием, а хроническое воспаление существует уже длительный период [10].

Проблемы с идентификацией возбудителя, ошибки в диагностике, нерациональная тактика терапии только пролонгирует процесс течения заболевания и ухудшает его прогностические характеристики.

Каскад реакций начинается тогда, когда микроорганизм или ассоциация микроорганизмов, как правило, в тандеме – вирус и бактерии, проникли в эндометрий. Формируется очаг воспаления, в который

мигрируют нейтрофилы, затем макрофаги и происходит презентация чужеродного антигена иммунокомпетентным клеткам. Происходит выделение БАВ, вызывающих в свою очередь изменения в реологических свойствах крови, нарушается микроциркуляция и развивается гипоксия, влекущая за собой оксидативный стресс. Далее активируются факторы роста, ответственные за ангиоматоз и активацию фибробластов с последующим фиброзом и склерозом повреждённых участков. Изменения в архитектонике сосудов, в особенности спиральных артерий – их склероз, приводит к нарушению баланса между прооксидантной и антиоксидантной системами [11]. Вне патологических изменений продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ) образуются и далее при участии ферментов подвергаются трансформации в воду. Однако когда баланс между системами нарушен и постоянно поддерживается воспалительный процесс, происходит разобщение аэробного дыхания, запускается гликолиз с накоплением лактата, янтарной, яблочной кислот – изменяется рН в сторону кислой среды. Повышается онкотическое и осмотическое давление. Полученные перекись водорода, гидроксильный радикал и др. повреждают клетки эндометрия. Окислительные реакции далее активируют прогресс пролиферативных изменений.

Однако многие исследователи считают, что инвазия патогенов является лишь «вершиной айсберга», а его длительная персистенция в эндометрии вызывает перестройку антигенов слизистой оболочки матки и способствует развитию аутоиммунного ответа посредством реакции гиперчувствительности замедленного типа. Образующие антитела агрессивно взаимодействуют как с повреждённой тканью, так и со здоровой. Ухудшает состояние снижение выработки секреторных иммуноглобулинов.

Особое внимание следует уделить сбору гинекологического анамнеза у женщин, учитывая факты наличия предшествующих: абортов, привычного невынашивания, неудачных попыток ЭКО и применения вспомогательных репродуктивных технологий, отсутствие лечебно-профилактических мероприятий, направленных на ликвидацию возможных осложнений, которые могут возникнуть после родов или аборта.

Частой причиной самопроизвольных абортов у женщин с ХЭ является увеличение концентрации иммунокомпетентных клеток CD56 и CD16, в связи с повышением выделения цитокинов, токсически влияющих на эмбрион [12]. Рассмотрим механизм: функциональный и базальный слой эндометрия



содержат достаточно обширное содержание иммунокомпетентных клеток, которые участвуют в реакциях, обеспечивающих нормальный процесс имплантации. Самой многочисленной популяцией среди данных клеток являются большие гранулярные лейкоциты с маркером -CD56. Во время нормально протекающей беременности натуральные киллеры (NK) с маркерами CD56, CD16 экспрессируют KIR2DL4 и ILT2, связываясь с локусом HLA-G. Данные реакции запускают подавление цитотоксического влияния NK. Образуется IFN- $\gamma$ , ответственный за нормальное ремоделирование сосудов. Прогестерон взаимодействует с рецепторами T-клеток CD8, а они в свою очередь синтезируют прогестерониндуцированный блокирующий фактор (PIBF). PIBF связывается с NK и направляет иммунный ответ в сторону менее активных NK (CD56, CD16). Таким образом ответ иммунной системы матери идёт со стороны Th-2 пути, при котором вырабатываются следующие цитокины: IL-3, IL-4, IL-10, IL-13. Эти цитокины отвечают за нормальный иммунный гемостаз.

Если же будет снижено количество прогестерона и T-клеток, ответственных за образование PIBF, то далее будут участвовать в иммунных процессах не активированные NK (CD56, CD16), а лимфокинаktivированные киллеры. Все это будет способствовать накоплению эмбриотоксических цитокинов -IL-1, IL-6, TNF- $\alpha$ . Иммунный ответ матери будет опосредован через Th-1 путь. Концентрация провоспалительных цитокинов будет увеличена, что будет способствовать активации протромбиназы и далее-тромбоза – прерывание беременности или формирование плацентарной недостаточности.

К нарушению имплантации может привести также нарушение рецептивных свойств эндометрия, так, при ХЭ существует «мозаицизм» с чередованием очагов фиброза, полипоза и атрофии со снижением или отсутствием рецепции к прогестерону, дефицит которого нарушит процесс трансформации эндометрия.

«Золотым» стандартом диагностики ХЭ является морфологическое исследование. Так в ходе ряда исследований, в котором приняли участие 345 женщин, Ю.А. Петров и соавт. установили основные три макротипа ХЭ: гипопластический, гиперпластический и смешанный [13]. Вне зависимости от принадлежности к тому или иному макротипу у пациенток была выражена лимфоцитарная инфильтрация, диффузная в случае смешанного или гиперпластического макротипа и очаговая в случае гипопластического макротипа [14].

Гипопластический макротип характеризовался наличием внутриматочных синехий, бледной, истонченной слизистой оболочкой, невыраженным сосудистым рисунком. Гистологический анализ определил дистрофические элементы с явлением атрофии: наличие апоптоза покровных эпителиоцитов и гладулоцитов, снижение активности пролиферации клеток.

Для гиперпластического макротипа было характерно наличие бледно-розовой, утолщенной слизистой оболочки с наличием микрополипов и зон гиперемии, отеком стромы. Базальный слой и гладкомышечные клетки гиперплазированы, что является следствием увеличения пролиферативной активности клеток.

Смешанный тип сочетал в себе признаки зон нормальной толщины и истончения слизистой оболочки, окраска неравномерная с очаговой или диффузной гиперемией и полиповидными разрастаниями. Характерен структурный мозаицизм, сочетающийся в себе чередующиеся фиброз и атрофию.

Резистентная микрофлора, ранее подобранное лечение без положительной тенденции, а также латентное, а иногда и abortивное течение заболевания представляют большие трудности для терапии [15, 16].

Лечение ХЭ представляет собой многоступенчатый процесс, именно сочетание поэтапности терапии в дальнейшем способствует наступлению долгожданной беременности и её вынашиванию [17].

Первый этап заключается в элиминации возбудителей антибактериальными средствами широкого спектра действия и/или сочетание с противовирусными препаратами, если в ходе исследования была обнаружена микст-инфекция в тандеме с вирусной инвазией [18]. Если же патоген был не идентифицирован или микробиологическое исследование провести было невозможно, то терапию назначают эмпирически, используя антибактериальные и противовирусные средства широкого ряда действия, с их заменой при отсутствии положительной динамики [19]. Препаратами выбора являются фторхинолоны с нитроимидазолами/ цефалоспорины III генерации с макролидами и нитроимидазолами/ защищённые пенициллины с макролидами, в качестве противовирусной терапии- аналоги нуклеозидов [20].

Существуют дискуссии по поводу выбора метода введения лекарственных средств, на данный момент используют парентеральный и пероральный методы, существуют идеи для осуществления внутриматочного введения препаратов. Однако постоянные микротравмы, ассоциированные с возмож-

ным внутриматочным введением и вопросы о дозировке выбранного средства в связи с высокой резорбтивной способностью эндометрия ставят целесообразность данного метода под большим вопросом [21].

Сущность второго этапа заключается в восстановлении морфофункциональных характеристик повреждённого эндометрия, подразумевая под собой коррекцию метаболических нарушений, восстановление гемодинамики, устранение ишемии и последствий гипоксии [22]. Проводят двухэтапную коррекцию метаболической дисфункции путём парентерального введения метаболических препаратов (пентоксифиллин, аскорбиновая кислота) на протяжении 10 дней, с последующей заменой их на пероральный приём [23].

ХЭ влечёт за собой нарушение гемодинамики, дисбаланс в активности ангиогенных и антиангиогенных факторов, проявляется венозным стазом, поэтому отмечают эффективность физиотерапевтических методов лечения [24, 25].

Возможно использование самоконтролируемого энергонеуроадаптивного регулятора (СКЭНАР). Его действие основано на генерации низкочастотных импульсов при воздействии на кожу, гармонизируя резервные функции организма пациента. Используя в качестве зон воздействия: паравerteбральные линии, места выхода тройничного нерва, шейно-воротниковая зона, надлобковая, крестцово-поясничная и др. Работа СКЭНАР запускает импульсы, способствующие ответу со стороны центральной нервной системы, генерируется реакция коры и гипоталамуса. Запускается процесс координации между нижележащими и вышележащими отделами центральной нервной системы. Активируются кожно-висцеральные рефлексы [26].

Обращает акцент на себя сочетание озонотерапии и бактериофаготерапии. Данная комбинация позволяет соединять в себе эффект санации и восстановления микрофлоры влагалища [27].

Гипопластический макротип, включающий внутриматочные синехии вплоть до развития синдрома Ашермана [28], может сочетать в своём лечении использование ферментативных средств, таких как лонгидаза.

Открытым остаётся вопрос о применении гормональной терапии с целью улучшения связи в системе «гипоталамус – гипофиз – яичники» [29].

На современном этапе развития ВРТ и ЭКО особое внимание уделяют исследованию возможных способов устранения истончения слизистой оболочки мат-

ки [30]. Именно так называемый «тонкий» эндометрий, характерный для гипопластического макротипа, становится барьером для успешного проведения ЭКО [30]. Критичным для имплантации эмбриона при экстракорпоральном оплодотворении считают 7 мм в период «окна имплантации». С целью коррекции «тонкого» эндометрия назначают эстрадиол валерат, преимущественно интравагинально. Именно использование вагинальной формы эстрадиола в ряде исследований увенчалось успехом, в сравнении с пероральным приемом. Так, минуя печень, происходит селективное расширение сосудов матки, что обеспечивает лучшее увеличение толщины эндометрия, соответственно, повышая шанс наступления беременности.

Если же организм женщины остаётся резистентным к стандартной терапии гормональными препаратами [31], то далее наступает следующий этап – применение гранулоцитарного колониестимулирующего фактора (Г-КСФ).

Также актуальна антиоксидантная терапия пентоксифиллином и витамином Е, устраняя оксидативный стресс и нейтрализуя действие свободных радикалов, происходит стимуляция улучшения кровоснабжения матки и увеличения толщины эндометрия. Положительные результаты наблюдают при использовании низких доз ацетилсалициловой кислоты в дополнение к стандартной гормональной терапии [32, 33].

Восстановление циркуляции крови в сосудах матки и запуск неоангиогенеза возможно при использовании физиотерапевтических методов с абдоминально-вагинальной установкой электродов. Так низкочастотная электроимпульсная терапия провоцирует регресс склероза повреждённых участков эндометрия с последующим постепенным восстановлением и улучшением экоструктуры [34–36].

### Заключение

ХЭ, представляя собой потенциальную угрозу в плане репродуктивных потерь, требует дальнейшего детального изучения. Стоит направить силы на раннюю профилактику ВЗОМТ, развитие новых методов диагностики и лечения. Поставить акцент на исследовании формирования и тактики терапии гипопластического макротипа, решив проблему череды безуспешных ЭКО у женщин с истонченным эндометрием. Все это позволит улучшить ситуацию сохранения и улучшения репродуктивного здоровья среди населения.

Список литературы

1. Радзинский В.Е., Димитрова И.Ю., Майскова И.Ю. Не развивающаяся беременность. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 196 с.
2. Селихова М.С., Дмитриенко Г.В., Кузнецова О.А., Вдовин С.В. Не развивающаяся беременность: как избежать потерь в будущем? // ВНМТ. 2012. № 2. С. 303–305.
3. Петров Ю.А. Клинико-морфологическая характеристика и онкологические аспекты применения внутриматочных контрацептивов: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Краснодар, 1984. 18 с.
4. Радзинский В.Е., Петров Ю.А., Полина М.Л. Хронический эндометрит: современные аспекты // Кубанский научный медицинский вестник. 2017. Т. 24. № 5. С. 69–74.
5. Böhme L., Albrecht M., Riede O., Rudel T. Chlamydia trachomatis-infected host cells resist dsRNA-induced apoptosis. *Cell. Microbiol.* 2010. Vol. 12. № 9. P. 1340–1351.
6. Andrews W.W., Hauth J.C., Cliver S.P., Conner M. Association of asymptomatic bacterial vaginosis with endometrial microbial colonization and plasma cell endometritis in non-pregnant women. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2006. Vol. 195. № 6. P. 1611–1616.
7. Петров Ю.А. Микробиологические детерминанты хронического эндометрита // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2011. № 6 (166). С. 110–113.
8. Eckert L.O., Hawes S.E., Wolner-Hanssen P.K. Endometritis: the clinical-pathologic syndrome. *Am. J. Obstet Gynecol.* 2002. Vol. 186. № 4. P. 690–695.
9. Мальцева Л.И., Смолина Г.Р., Юпатов Е.Ю. Хронический эндометрит и тазовая боль // Акушерство, гинекология и репродукция. 2012. № 3. С. 23–27.
10. Beruchashvili M., Gogiasvili L., Datunashvili E., Topuria Z., Tsagareli Z. Morphological peculiarities of endometrium in chronic endometritis associated with bacterial vaginosis. *Georgian Med. News.* 2010. Vol. 181. P. 59–63.
11. Унанян А.Л., Сидорова И.С., Араkelов С.Э., Полонская Л.С., Коссович Ю.М., Калдырова А.Э., Бабуриин Д.В. Хронический цервицит и хронический эндометрит: общие аспекты патогенеза и патогенетической терапии // Медицинский совет. 2013. № 4–2. С. 88–95.
12. Петров Ю.А. Аспекты микробиологической и иммунной диагностики хронического эндометрита // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4.
13. Петров Ю.А. Роль микробного фактора в генезе хронического эндометрита // Кубанский научный медицинский вестник. 2016. № 3 (158). С. 113–118.
14. Петров Ю.А. Гистероскопическая характеристика эндометрия женщин с ранними репродуктивными потерями // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2011. № S5. С. 243–247.
15. Kasius J.C., Fatemi H.M., Bourgain C., Sie-Go D.M., Eijkemans K.J., Fauser B.C., Devroey P. The impact of chronic endometritis on reproductive outcome. *Fertil. Steril.* 2011. V. 96. P. 1451–1455.
16. Петров Ю.А. Современные подходы к лечению хронического эндометрита у женщин с ранними репродуктивными потерями // Владикавказский медико-биологический вестник. 2011. Т. 13. № 20–21. С. 42–46.
17. Унанян А.Л., Коссович Ю.М. Современные подходы к лечению больных с хроническим эндометритом // Архив акушерства и гинекологии им. В.Ф. Снегирева. 2016. № 2. С. 141–148.
18. Петров Ю.А. Гистероскопическая характеристика эндометрия женщин с ранними репродуктивными потерями // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2011. № S5. С. 243–247.
19. Сухих Г.Т., Шуршалина А.В. Хронический эндометрит: Руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 64 с.
20. Шуршалина А.В. Клинико-морфологические особенности хронического эндометрита у женщин с нарушением репродуктивной функции: дис. ... докт. мед. наук. Москва, 2007. 38 с.
21. Cholkeri-Singh A., Sasaki K.J. Hysteroscopy for infertile women: a review. *J. Minim Invasive Gynecol.* 2015. Vol. 22. № 3. P. 353–362.
22. Кулаков В.И., Шуршалина А.В. Хронический эндометрит // Гинекология. 2005. Т. 7. № 5. С. 7–10.
23. Рудакова Е.Б., Лобода О.А. Хронический эндометрит в аспекте результативности программ экстракорпорального оплодотворения // Лечащий врач. 2012. № 11. С. 22–24.
24. Волкова Е.Ю., Силантьева Е.С., Серов В.Н. Влияние физиотерапии на гемодинамику матки у женщин с нарушением репродуктивной функции и «тонким» эндометрием // Российский вестник акушера-гинеколога. 2012. № 3. С. 50–54.
25. Бурлев В.А., Ильясова Н.А., Шишканова О.Л. Циклический ангиогенез эутопического эндометрия // Проблемы репродукции. 2006. № 66. С. 22–30.
26. Черчаго А.Я. Нейрофизиологические механизмы действия аппаратов серии СКЭНАР // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 1. С. 122–125.
27. Гречканев Г.О., Мотовилова Т.М., Качалина Т.С., Пономарева И.В. Опыт комбинированного лечения хронического эндометрита с использованием озono- и бактериофаготерапии // Биорадикалы и Антиоксиданты. 2016. № 3. С. 144–148.
28. Дубницкая Л.В., Назаренко Т.А. Хронический эндометрит: современные подходы к терапии // Мед. альманах. 2010. Т. 2. № 11. С. 182–184.
29. Яковлева О.В. Подходы к реабилитации женщин с хроническим эндометритом после ранних репродуктивных потерь (обзор литературы) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 4–3. С. 578–581.
30. Боярский К.Ю., Гайдуков С.Н., Пальченко Н.А. Современный взгляд на проблему рецептивности и тонкого эндометрия в программах ВРТ: обзор литературы // Проблемы репродукции. 2013. № 4. С. 51–60.
31. Петров Ю.А. Специфика репродуктивного и контрацептивного поведения студентов медицинского университета // Валеология. 2016. № 2. С. 31–34.
32. Петров Ю.А. Роль иммунных нарушений в генезе хронического эндометрита // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2011. № 6. С. 282–289.
33. Gargett C.E., Ye L. Endometrial reconstruction from stem cells. *Fertil. and Steril.* 2012. V. 98. № 1. P. 11–20.
34. Овчарук Э.А. Хронический аутоиммунный эндометрит как одна из главных причин нарушения репродуктивной функции (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. 2013. № 1. С. 1–11.
35. Петров Ю.А. Оценка адаптационного и иммунного резерва женщин с хроническим эндометритом в зависимости от объема реабилитационной терапии // Валеология. 2016. № 2. С. 35–39.
36. Серова В.Н., Коган Е.А., Силантьева Е.С. Комплексное лечение хронического эндометрита: клинико-морфологическое обоснование использования физиотерапии // Акушерство и гинекология. 2006. № 3. С. 21–24.

**ПАТОЛОГИЯ СЕРДЦА ПРИ СЕПСИСЕ****<sup>1,2</sup>Щеголев А.И., <sup>1</sup>Туманова У.Н., <sup>2</sup>Мишнёв О.Д.**<sup>1</sup>ФГБУ «Научный центр акушерства, гинекологии и перинатологии  
имени академика В.И. Кулакова» Минздрава России, Москва;<sup>2</sup>ГБОУ ВПО «Российский национальный исследовательский медицинский университет  
имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, e-mail: ashegolev@oparina4.ru

Приведены данные литературы, посвященные изучению поражений сердца при сепсисе. Основными клиническими проявлениями является развитие систолической и/или диастолической дисфункции правого и/или левого желудочка. У ряда больных возникают нарушения ритма (фибрилляция предсердий и желудочковые аритмии). Подчеркнуто, что развитие сердечно-сосудистой недостаточности считается критическим этапом в формировании полиорганной недостаточности при сепсисе. В основе сепсис-индуцированного развития поражения сердца и формирования сердечно-сосудистой недостаточности лежит комплекс взаимно усугубляющих реакций и механизмов: воздействие циркулирующих микроорганизмов и продукты их распада, в частности липополисахарида, активация ядерного фактора-кВ с последующей продукцией провоспалительных цитокинов, активация синтаз оксида азота и повышение продукции оксида азота, угнетение регуляции  $\beta$ -адренергических рецепторов, снижение реакции миофиламентов на изменения концентрации ионов Са, повышение проницаемости мембран митохондрий и активация апоптоза клеток. При микроскопическом исследовании препаратов отмечаются некроз и повреждения кардиомиоцитов, нейтрофильная инфильтрация, субэндокардиальные кровоизлияния, отложения фибрина в микрососудах, интерстициальный и внутриклеточный отек, уменьшение содержания гликогена в клетках, выраженность и преимущественная локализация которых отражает особенности клинических проявлений дисфункции сердца при сепсисе и септическом шоке.

**Ключевые слова:** сердце, сепсис, септическая кардиомиопатия, сердечная дисфункция, полиорганная недостаточность

**PATHOLOGY OF THE HEART IN SEPSIS****<sup>1,2</sup>Shchegolev A.I., <sup>1</sup>Tumanova U.N., <sup>2</sup>Mishnev O.D.**<sup>1</sup>National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology  
named after Academician V.I. Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation, Moscow;<sup>2</sup>N.I. Pirogov Russian National Research Medical University,  
Ministry of Health of Russia, Moscow, e-mail: ashegolev@oparina4.ru

The literature data on the study of heart lesions in sepsis are presented. The main clinical manifestations are the development of systolic and/or diastolic dysfunction of the right and/or left ventricle. A number of patients experience rhythm disturbances (atrial fibrillation and ventricular arrhythmias). It is accentuated that the development of cardiovascular failure is considered a critical stage in the formation of multiple organ failure in sepsis. The basis of the development of heart damage, which is induced by sepsis, and the formation of cardiovascular insufficiency is a complex of mutually aggravating reactions and mechanisms: the effects of circulating microorganisms and their breakdown products, in particular lipopolysaccharide, activation of nuclear factor-kB with subsequent production of pro-inflammatory cytokines, activation of synthases nitric oxide and an increase in the production of nitric oxide, inhibition of regulation of  $\beta$ -adrenergic receptors, a decrease in the reaction of myofilaments to changes in the concentration of C ions a, increased permeability of mitochondrial membranes and activation of cell apoptosis. Necrosis and damage to cardiomyocytes, neutrophilic infiltration, subendocardial hemorrhages, fibrin deposits in microvessels, interstitial and intracellular edema, and a decrease in glycogen content in cells are detected by microscopic examination of the drugs. The severity and predominant localization of these changes reflects the features of the clinical manifestations of cardiac dysfunction in sepsis and septic shock.

**Keywords:** heart, sepsis, septic cardiomyopathy, cardiac dysfunction, multiple organ failure

Исторически сепсис рассматривается как инфекционный процесс в ответ на внедрение микроорганизмов с существенным изменением типичного компенсаторного характера воспаления. Именно формирование реакции системного (генерализованного) воспаления, инициированного инфекционным агентом, знаменует развитие сепсиса. Клиническая интерпретация подобного взгляда легла в основу определения синдрома системного воспалительно-го ответа, а также критериев диагностики

и классификации сепсиса, предложенных в 1991 г. согласительной конференцией Американского колледжа пульмонологов и Общества специалистов критической медицины (ACCP/SCCM) [1]. Соответственно в 2004 г. в Калуге состоялась отечественная согласительная конференция по сепсису, итогом которой явилось издание практического руководства [2].

Дальнейшее активное выяснение факторов риска и причин развития, особенностей изменения лабораторных показа-



телей и клинической картины при сепсисе явилось основанием для регулярного обсуждения и выработки консенсуса по проблемам сепсиса как среди зарубежных исследователей [3], так и в нашей стране [4, 5]. В настоящее время общепринятыми считаются положения, предложенные в 2016 г. специальной комиссией SCCM/ESICM (Sepsis-3) [6], согласно которым сепсис характеризуется дисрегуляцией системного воспалительного ответа при микробной инвазии с развитием органной дисфункции (полиорганной недостаточности).

Среди основных органов-мишеней, поражаемых при сепсисе, особое место занимает сердце, обеспечивающее адекватное кровоснабжение органов и тканей, поражение которого считается важным звеном формирования синдрома полиорганной недостаточности и развития септического шока [7, 8].

Цель работы: анализ данных литературы о клинико-морфологических проявлениях поражения сердца при сепсисе.

Согласно положениям консенсуса Sepsis-3 [6], наличие и степень органной дисфункции рекомендуется оценивать по шкале SOFA (Sepsis-related (sequential) Organ Failure Assessment), где ноль баллов указывает на отсутствие органной дисфункции, а два и более баллов при наличии очага инфекции соответствуют сепсису. Степень поражения сердечно-сосудистой системы по шкале SOFA оценивается по наличию артериальной гипотензии и дозе вазопрессорных препаратов для ее коррекции.

По данным К.В. McConnell и М.К. Coopersmith [9] поражение сердечно-сосудистой системы отмечается примерно у половины пациентов с сепсисом. Считается, что дисфункция сердца при сепсисе может проявляться в виде левожелудочковых и/или правожелудочковых нарушений во время систолы или диастолы, неадекватного сердечного выброса и, соответственно, доставки кислорода, развития аритмий, а также прямого повреждения кардиомиоцитов [10].

При этом развитие сердечно-сосудистой недостаточности считается критическим этапом в формировании полиорганной недостаточности, поскольку наблюдается снижение общего объема циркулирующей крови, что усугубляет гипоксию тканей, повреждение митохондрий и нарушения метаболизма клеток всех без исключения органов [11]. По мнению J. Blanco с соавт. [12], именно сердечно-сосудистая недостаточность (коллапс) является «предпоследним шагом» до смерти от септического шока.

Примечательно, что при сепсисе примерно 90% осложнений со стороны сердца,

включая инфаркт, аритмии и сердечную недостаточность, происходит в первые семь дней, из которых более половины развивалось в первые 24 часа заболевания [13]. Более 60% больных сепсисом, поступавших в отделения интенсивной терапии, имели клинические признаки сердечной дисфункции, летальность для них составляла 70–90% в отличие от 20% у пациентов без поражения сердца [14].

Вместе с тем до настоящего времени отсутствуют согласованные мнения в отношении терминологии поражения сердца при сепсисе и его клинических проявлений. Некоторые авторы [15] предлагают использовать термин «септическая кардиомиопатия», обозначающий развитие сепсис-обусловленного синдрома острой сердечной дисфункции, не связанной с ишемией вследствие поражения венечных артерий и характеризующейся одним или более следующими признаками:

- дилатация левого желудочка с нормальным или низким давлением наполнения,
- снижение сократимости желудочков,
- дисфункция (систолическая или диастолическая) правого и/или левого желудочка со сниженным ответом на инфузионную терапию.

Действительно, у 29–67% пациентов, страдающих сепсисом или септическим шоком, при эхокардиографии выявляются признаки систолической дисфункции левого желудочка в виде снижения фракции выброса менее 45–55%, а около 15% больных имеют выраженную систолическую дисфункцию левого желудочка (фракция выброса менее 30%) [16].

При изучении гемодинамики или при радиоизотопном исследовании до 56% пациентов с сепсисом имеют признаки систолической дисфункции левого желудочка. Диастолическая дисфункция левого желудочка выявляется примерно с той же частотой: по данным В.А. Anderson и М.Е. Mikkelsen [16] – в 57% наблюдений сепсиса. При этом развитие диастолической дисфункции левого желудочка при сепсисе коррелирует с неблагоприятным исходом [16].

Изучению систолической дисфункции правого желудочка при сепсисе посвящено меньшее количество исследований, хотя развивается она обычно в сочетании с дисфункцией левого желудочка и может характеризоваться как увеличением, так и уменьшением фракции выброса. Частота развития систолической дисфункции правого желудочка составляет 32–52% [17]. У ряда пациентов отмечается развитие диастолической дисфункции правого желудочка. Примечательно, что у трети больных,

страдающих сепсисом, наблюдаются признаки систолической дисфункции обоих желудочков сердца [16]. Следует также отметить интересную особенность дисфункции сердца у больных с сепсисом: степень уменьшения фракции выброса выражена в большей степени у выживших больных по сравнению с погибшими [16].

Другим грозным осложнением со стороны сердца при сепсисе считается развитие нарушений ритма, частота которых достигает 12% у пациентов в критическом состоянии [18]. Наиболее часто, примерно у 6–8% больных с сепсисом, определяется фибрилляция предсердий. Развивается она, как правило, в течение первых трех дней заболевания [16]. При этом роль фибрилляции предсердий в развитии летального исхода при септическом шоке сопоставима с таковой от полиорганной недостаточности. Желудочковые аритмии встречаются реже (примерно в 2% наблюдений) [18].

В основе развития поражения сердца и формирования его дисфункции (сердечно-сосудистой недостаточности) лежит сложный комплекс различных взаимно усугубляющих реакций и механизмов. К первоначальным повреждающим агентам следует отнести циркулирующие микроорганизмы и продукты их распада, в частности липополисахарид, взаимодействующие с клетками различных органов и тканей, включая кардиомиоциты, и вызывающие активацию транскрипционного ядерного фактора-kB (NF-kB) с последующей продукцией провоспалительных цитокинов [19]. Еще 30 лет назад A.F. Suffredini с соавт. [20] показали, что у здоровых добровольцев через 3 ч после внутривенного введения липополисахарида в дозе 4 нг/кг наблюдалось повышение частоты сердечных сокращений, а также снижение фракции выброса и увеличение конечного диастолического объема в левом желудочке. Повышение продукции провоспалительных цитокинов также сопровождается нарушением функций сердца. Более того, введение фактора некроза опухоли (TNF) вызывало дозозависимый эффект угнетения функции левого желудочка [21].

Важно, что под действием липополисахарида происходит высвобождение из кардиомиоцитов и других клеток амфотерина (HMGB1) – белка группы ядерных негистоновых белков HMG, вызывающего выход кальция из эндоплазматического ретикулума и соответственно снижение сократимости кардиомиоцитов [22]. Помимо липополисахаридов другие компоненты клеточной стенки патогенных микроорганизмов, в частности липопроотеины, также

способны реагировать с различными толл-подобными рецепторами (-2, -5, -9) клеток сердца, приводя к развитию воспаления и дисфункции кардиомиоцитов [23].

Наряду с прямым и опосредованным эффектом патоген-ассоциированных молекулярных паттернов (PAMP) происходит высвобождение различных эндогенных лигандов / медиаторов, в частности опасность-ассоциированных молекул (DAMP), усугубляющих повреждение клеток и тканей. В свою очередь опасность-ассоциированные молекулы (DAMP) вызывают высвобождение гепаран сульфата из гликокаликса эндотелиоцитов, индуцирующего развитие воспалительного ответа и повреждение митохондрий в кардиомиоцитах [24].

Существенная роль в повреждении сердца при сепсисе принадлежит также оксиду азота (NO) и его синтазам (NOS). В кардиомиоцитах идентифицировано три изоформы синтазы оксида азота. Две из них, нейрональная и эндотелиальная синтазы оксиды азота, постоянно генерируют небольшое количество оксида азота, Индуцибельная же изоформа характеризуется выраженным повышением своей экспрессии и значительной продукцией оксида азота при воспалении. Именно поэтому индуцибельной синтазе оксида азота отводится важная роль в развитии поздней дисфункции сердца при сепсисе [21].

Основными звеньями такого поражения считаются угнетение регуляции  $\beta$ -адренергических рецепторов, снижение реакции миофиламентов на изменения ионов Ca, повышение проницаемости мембран митохондрий с нарушением их функций. Следует также отметить, что введение липополисахарида приводит к подавлению транскрипции гена белков митохондрий и соответственно к повреждению самих митохондрий, что в свою очередь сопровождается снижением продукции АТФ и в дальнейшем к активации процессов апоптоза клеток [21].

Важным моментом при изучении патогенеза сепсиса, механизмов развития органной дисфункции и недостаточности, а также эффективности проводимого лечения и танатогенеза больных, несомненно, является проведение полноценных клинико-патологоанатомических сопоставлений.

В этой связи заслуживает внимание работа австрийских исследователей [25], посвященная ретроспективному анализу макроскопических изменений органов больных, погибших от сепсиса. В исследованный период времени (1997–2006 гг.) в отделении интенсивной терапии клиники Университета Инсбрука находилось на ле-

чении 415 больных с сепсисом и 442 – с септическим шоком. Общая смертность составила 32,3% (n = 277), в том числе 11,8% (49) от сепсиса и 51,5% (228) от септического шока. Аутопсийное исследование было проведено в 92,4% (256) случаев. В результате вскрытия тел умерших в 76,6% (180) наблюдений были выявлены септические очаги: 34% (80) пациентов имели по одному очагу, 30,6% (72) – по два, 8,9% (21) – три и 3% (7) – четыре очага. Чаще всего (в 41,3% наблюдений) определялась пневмония, в 28,9% – трахеобронхит, в 23,4% – перитонит, в 9,1% – внутрибрюшные абсцессы и в 6% – пиелонефрит. При этом авторы указывают на отсутствие различий по частоте и характеру септических очагов у больных с рефрактерной полиорганной недостаточностью и септическим шоком. В качестве наиболее частой причины смерти, по данным С. Torgersen с соавт. [25], фигурировала патология сердечно-сосудистой системы, в том числе в трети наблюдений указана неокклюзионная ишемия миокарда. Авторы также указывают на более частое выявление при аутопсийном исследовании острой дилатации правого желудочка сердца по сравнению с дилатацией левого желудочка, что свидетельствует о преобладании правожелудочковой недостаточности в танатогенезе от сепсиса и септического шока. К сожалению, и на это указывают сами авторы, в работе были проанализированы только макроскопические характеристики.

Гистологическому изучению поражений сердца при сепсисе была посвящена другая работа этих же авторов [26]. Для анализа были взяты образцы ткани из левого и правого предсердия, межжелудочковой перегородки, передней стенки левого и правого желудочка, задней стенки левого и правого желудочка, верхушки и левой сосочковой мышцы 20 больных, погибших от сепсиса и септического шока. Гистологические препараты окрашивали гематоксилином и эозином и трехцветной окраской по Массону. В результате проведенного исследования авторы представили распределение частоты различных микроскопических признаков поражения сердца при сепсисе [26]:

- миоцитоллиз – в 100% наблюдений,
- интерстициальный фиброз – 100%,
- участки контрактурного некроза – 95%,
- участки мононуклеарной инфильтрации – 90%,
- интерстициальный отек – 90%,
- участки кровоизлияний – 30%.

В наблюдениях же септикопиемии гнойные очаги значительно чаще отмечались в субэндокардиальных отделах правого желудочка.

Необходимо добавить, что выявляемые при гистологическом исследовании поражения миокарда характеризуются большой вариабельностью по степени выраженности и преимущественной локализации, что, видимо, отражает особенности клинических проявлений дисфункции сердца.

В результате анализа данных литературы о морфологическом изучении сердец экспериментальных животных после моделирования сепсиса M.R.N. Celes с соавт. [27] указывают на следующие изменения: некроз и повреждения кардиомиоцитов, нейтрофильная инфильтрация, субэндокардиальные кровоизлияния, отложения фибрина в микрососудах, интерстициальный и внутриклеточный отек, отек и набухание митохондрий, уменьшение содержания гликогена в клетках,

Наиболее перспективным, по нашему мнению, является проведение иммуногистохимических и молекулярно-биологических исследований. С одной стороны, использование люминесцирующих противомикробных сывороток позволяет не только выявлять на гистологических препаратах органов и тканей различные микроорганизмы (возбудители сепсиса), но и установить их вид. С другой стороны, иммуногистохимическое исследование способствует объективному выяснению звеньев патогенеза дисфункции сердца. Так, при иммуногистохимическом исследовании препаратов миокарда больных, погибших от сепсиса, в 56% наблюдений была выявлена положительная реакция с маркерами нейтрофилов (лактоферрином и CD15), преимущественно в периваскулярных участках, в контрольной группе реакция отсутствовала [28]. Примечательно, что на препаратах, окрашенных гематоксилином и эозином, признаки воспалительной клеточной реакции отмечались лишь в 32% случаев. Использование маркера макрофагов – CD68 позволило показать увеличение почти в 15 раз количества и в 2,5 раза размеров макрофагов преимущественно в периваскулярных участках миокарда.

По данным М.А. Rossi с соавт. [29], при сепсисе практически во всех кардиомиоцитах, макрофагах и гладко-мышечных клетках интрамуральных сосудов сердца определяется выраженная положительная экспрессия индуцируемой синтазы оксида азота (iNOS), что вызывает увеличение продукции оксида азота, обладающего отрицательным инотропным эффектом и вызывающего развитие цитолиза кардиомиоцитов.

В экспериментах по моделированию сепсиса у мышей М.А. Makara с со-



авт. [30] установили диффузные повреждения кардиомиоцитов межжелудочковой перегородки, левого и правого желудочков сердца. При этом в межжелудочковой перегородке практически отсутствовали CD45-положительные клетки (лейкоциты), но отмечалось увеличение экспрессии генов интерлейкина-1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ), интерлейкина-8 (IL-8) и фактора некроза опухоли (TNF), что свидетельствует о прямом повреждающем эффекте провоспалительных цитокинов. Одновременно с этим авторы выявили увеличение апоптоза кардиомиоцитов, выраженное в большей степени в участках с воспалительной инфильтрацией [30]. Иммуногистохимическими методами также было показано увеличение количества клеток (макрофагов, кардиомиоцитов, гладкомышечных клеток и эндотелиоцитов) с положительной экспрессией фактора некроза опухоли (TNF) на препаратах сердца больных, погибших от сепсиса и септического шока [27].

Таким образом, на основании проведенного анализа литературных данных, можно заключить, что сердце занимает важную роль в патогенезе полиорганной недостаточности при сепсисе. Основными клиническими проявлениями сердечной дисфункции считаются левожелудочковая и/или правожелудочковая недостаточность, неадекватный сердечный выброс и развитие аритмий. В основе развития поражения сердца и формирования сердечно-сосудистой недостаточности лежит сложный комплекс различных взаимно усугубляющих реакций и механизмов: непосредственное действие микроорганизмов, активация провоспалительных и противовоспалительных цитокинов с развитием системной воспалительной реакции, нарушения структуры и функции кардиомиоцитов. Перспективным методом изучения звеньев патогенеза сердечной недостаточности и танатогенеза больных с сепсисом является проведение клинико-морфологических сопоставлений.

### Список литературы

1. Bone R.C., Balk R.A., Cerra F.B., Dellinger R.P., Fein A.M., Knaus W.A., Schein R.M., Sibbald W.J. Definitions for sepsis and organ failure and guidelines for the use of innovative therapies in sepsis. The ACCP/SCCM Consensus Conference Committee. American College of Chest Physicians / Society of Critical Care Medicine. *Chest*. 1992. Vol. 101. № 6. P. 1644–1655. DOI: 10.1378/chest.101.6.1644.
2. Гельфанд Б.Р., Руднов В.А., Проценко Д.Н. Сепсис в начале XXI века. Классификация, клинико-диагностическая концепция и лечение. Патолого-анатомическая диагностика. М.: Издательство НЦССХ им А.Н. Бакулева РАМН, 2004. 130 с.
3. Levy M.M., Fink M.P., Marshall J.C., Abraham E., Angus D., Cook D., Cohen J., Opal S.M., Vincent J.L., Ramsay G., SCCM/ESICM/ACCP/ATS/SIS. 2001 SCCM/ESICM/ACCP/ATS/SIS International Sepsis Definitions Conference. *Crit Care Med*. 2003. Vol. 31. № 4. P. 1250–1256. DOI: 10.1097/01.CCM.0000050454.01978.3B.
4. Савельев В.С., Гельфанд Б.Р., Багненко С.Ф. Сепсис: классификация, клинико-диагностическая концепция и лечение / Под ред. В.С. Савельева, Б.Р. Гельфанда. 2-е изд. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2010. 352 с.
5. Багненко С.Ф., Байбарина Е.Н., Белобородов В.Б. Сепсис: классификация, клинико-диагностическая концепция и лечение / Под ред. Б.Р. Гельфанда. 4-е изд. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2017. 408 с.
6. Singer M., Deutschman C.S., Seymour C.W., Shankar-Hari M., Annane D., Bauer M., Bellomo R., Bernard G.R., Chiche J.D., Cooper-Smith C.M., Hotchkiss R.S., Levy M.M., Marshall J.C., Martin G.S., Opal S.M., Rubenfeld G.D., van der Poll T., Vincent J.L., Angus D.C. The third international consensus definitions for sepsis and septic shock (Sepsis-3). *JAMA*. 2016. Vol. 315. № 8. P. 801–810. DOI: 10.1001/jama.2016.0287.
7. Gonzalez M.A., Ochoa C.D. Multiorgan system failure in sepsis / Sepsis. Third Ed. Eds. G. Ortiz-Ruiz, C. Dueñas-Castell. N.Y.: Springer Science+Business Media LLC. 2018. P. 67–71.
8. Handbook of sepsis / Eds. W.J. Wiersinga, C.W. Seymour. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. 2018. 267 p. DOI: 10.1007/978-3-319-73506-1.
9. McConnell K.W., Cooper-Smith M.K. Pathophysiology of septic shock: from bench to bedside // *Presse Med*. 2016. Vol. 45. № 4 (Pt.2). P.e93-e98. DOI: 10.1016/j.lpm.2016.03.003.
10. Beesley S.J., Weber G., Sarge T., Nikravan S., Grisom C.K., Lanspa M.J., Shahul S., Brown S.M. Septic cardiomyopathy. *Crit Care Med*. 2018. Vol. 46. № 4. P. 625–634. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002851.
11. Савельев В.С., Гельфанд Б.Р., Мишнев О.Д., Щеголев А.И. Хирургический сепсис: клинико-патологоанатомические аспекты // *Архив патологии*. 2007. № 4. С. 59–63.
12. Blanco J., Muriel-Bombin A., Sagredo V., Taboada F., Gandía F., Tamayo L., Collado J., García-Labattut A., Carriedo D., Valledor M., De Frutos M., López M.J., Caballero A., Guerra J., Alvarez B., Mayo A., Villar J., Grupo de estudios y análisis en cuidados intensivos. Incidence, organ dysfunction and mortality in severe sepsis: A Spanish multicentre study. *Crit Care*. 2008. Vol. 12. № 6. P. R158. DOI: 10.1186/cc7157.
13. Corrales-Medina V.F., Musher D.M., Wells G.A., Chirinos J.A., Chen L., Fine M.J. Cardiac complications in patients with community-acquired pneumonia: incidence, timing, risk factors, and association with short-term mortality // *Circulation*. 2012. Vol. 125. № 6. P. 773–781. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.111.040766.
14. Vieillard-Baron A., Caille V., Charron C., Belliard G., Page B., Jardin F. Actual incidence of global left ventricular hypokinesia in adult septic shock. *Crit. Care Med*. 2008. Vol. 36. № 6. P. 1701–1706. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318174db05.
15. Ehrman R.R., Sullivan A.N., Favot M.J., Sherwin R.L., Reynolds C.A., Abidov A., Levy P.D. Pathophysiology, echocardiographic evaluation, biomarker findings, and prognostic implications of septic cardiomyopathy: a review of the literature. *Crit. Care*. 2018. Vol. 22. P. 112. DOI: 10.1186/s13054-018-2043-8.
16. Anderson B.J., Mikkelsen M.E. Organ dysfunction in sepsis: brain, neuromuscular, cardio-vascular, and gastrointestinal. Sepsis: definitions, pathophysiology and the challenge of bedside management / Eds. N.S. Ward, M.M. Levy. Springer International Publishing AG, 2017. P. 159–183.
17. Furian T., Aguiar C., Prado K., Ribeiro R.V., Becker L., Martinelli N., Clausell N., Rohde L.E., Biolo A. Ventricular dysfunction and dilation in severe sepsis and septic shock: relation to endothelial function and mortality. *J. Crit. Care*. 2012. Vol. 27. Iss. 3. P.319.e9–319.e15. DOI: 10.1016/j.jccr.2011.06.017.
18. Balik M., Matousek V., Maly M., Brozek T. Management of arrhythmia in sepsis and septic shock. *Anaesthesiol Intensive Ther*. 2017. Vol. 49. P. 419–429. DOI: 10.5603/AIT.a2017.0061.
19. Kakihana Y., Ito T., Nakahara M., Yamaguchi K., Yasuda T. Sepsis-induced myocardial dysfunction: pathophysiology



- and management. *J. Intensive Care*. 2016. Vol. 4. № 22. P. 1–10. DOI: 10.1186/s40560-016-0148-1.
20. Suffredini A.F., Fromm R.E., Parker M.M., Brenner M., Kovacs J.A., Wesley R.A., Parrillo J.E. The cardiovascular response of normal humans to the administration of endotoxin. *N. Engl. J. Med.* 1989. Vol. 321. № 5. P. 280–287.
21. Martin L., Derwall M., Al Zoubi S., Zechendorf E., Reuter D.A., Thiemermann C., Schuerholz T. The septic heart: current understanding of molecular mechanisms and clinical implications. *Chest*. 2019. Vol. 155. № 2. P. 427–437. DOI: 10.1016/j.chest.2018.08.1037.
22. Zhang C., Mo M., Ding W., Liu W., Yan D., Deng J., Luo X., Liu J. High-mobility group box 1 (HMGB1) impaired cardiac excitation-contraction coupling by enhancing the sarcoplasmic reticulum (SR) Ca(2<sup>+</sup>) leak through TLR4-ROS signaling in cardiomyocytes. *J. Mol. Cell. Cardiol.* 2014. Vol. 74. P. 260–273. DOI: 10.1016/j.yjmcc.2014.06.003.
23. Lohner R., Schwederski M., Narath C., Klein J., Durr G.D., Torno A., Knuefermann P., Hoeft A., Baumgarten G., Meyer R., Boehm O. Toll-like receptor 9 promotes cardiac inflammation and heart failure during polymicrobial sepsis. *Mediators Inflamm.* 2013. Vol. 2013. P. 261049. DOI: 10.1155/2013/261049.
24. Martin L., Peters C., Schmitz S., Moellmann J., Martincuks A., Heussen N., Lehrke M., Müller-Newen G., Marx G., Schuerholz T. Soluble heparan sulfate in serum of septic shock patients induces mitochondrial dysfunction in murine cardiomyocytes. *Shock*. 2015. Vol. 44. № 6. P. 569–577. DOI: 10.1097/SHK.0000000000000462.
25. Torgersen C., Moser P., Luckner G., Mayr V., Jochberger S., Hasibeder W.R., Dünser M.W. Macroscopic postmortem findings in 235 surgical intensive care patients with sepsis. *Anesth Analg.* 2009. Vol. 108. № 6. P. 1841–1847. DOI: 10.1213/ane.0b013e318195e11d.
26. Schmittinger C.A., Dünser M.W., Torgersen C., Luckner G., Lorenz I., Schmid S., Joannidis M., Moser P., Hasibeder W.R., Halabi M., Steger C.M. Histologic pathologies of the myocardium in septic shock: a prospective observational study. *Shock*. 2013. Vol. 39. № 4. P. 329–335. DOI: 10.1097/SHK.0b013e318289376b.
27. Celes M.R.N., Prado C.M., Rossi M.A. Sepsis: going to the heart of the matter. *Pathobiology*. 2013. Vol. 80. № 2. P. 70–86. DOI: 10.1159/000341640.
28. Galassi A., Turatello L., De Salvia A., Neri M., Turillazzi E., La Russa R., Viola R.V., Frati P., Fineschi V. Septic cardiomyopathy: The value of lactoferrin and CD15 as specific markers to corroborate a definitive diagnosis. *Int. J. Immunopathol Pharmacol.* 2018. Vol. 32. № 2058738418776526. P. 1–8. DOI: 10.1177/2058738418776526.
29. Rossi M.A., Celes M.R., Prado C.M., Saggioro F.P. Myocardial structural changes in long-term human severe sepsis/septic shock may be responsible for cardiac dysfunction. *Shock*. 2007. Vol. 27. № 1. P. 10–18. DOI: 10.1097/01.shk.0000235141.05528.47.
30. Makara M.A., Hoang K.V., Ganesan L.P., Crouser E.D., Gunn J.S., Turner J., Schlesinger L.S., Mohler P.J., Rajaram M.V. Cardiac electrical and structural changes during bacterial infection: An instructive model to study cardiac dysfunction in sepsis. *J. Am. Heart. Assoc.* 2016. Vol. 5. № 9. № e003820. P. 1–16. DOI: 10.1161/JAHA.116.003820.

## СТАТЬИ

УДК 669.432:553.981

**ТЕРМОДИНАМИКА ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ОБЕДНЕНИЯ СИСТЕМЫ  
Cu-Me-Fe-O-SiO<sub>2</sub> (Me – Pb, Zn, As) ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ**
**<sup>1</sup>Досмухамедов Н.К., <sup>2</sup>Федоров А.Н., <sup>1</sup>Жолдасбай Е.Е.**
*<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева, Алматы, e-mail: nurdos@bk.ru;*
*<sup>2</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва*

Приведены результаты термодинамического анализа поведения Cu, Pb, Zn и As в условиях глубоко восстановительного ( $P_{O_2} = 10^{-11} \div 10^{-13}$  атм) двухстадийного обеднения высокомедистых шлаков природным газом в присутствии угля при температуре 1300 °С. Особое внимание уделено полному удалению мышьяка из шлака и получению продуктов высокого качества: металлического сплава на основе меди и свинцово-цинковых возгонов. На основании сравнительного анализа расчетных значений энергии Гиббса взаимодействия оксидов цветных металлов и мышьяка с природным газом, с расчетными величинами убыли энергии Гиббса, полученными для условий восстановления шлака углем, показана возможность глубокого восстановления нелетучего оксида мышьяка (V) природным газом до его летучего оксида (III). Показано, что расчетные значения  $\Delta G^0_T$  реакции взаимодействия оксида мышьяка с природным газом при заданных температурах не менее чем в два раза (по абсолютной величине) превышают значения  $\Delta G^0_T$  реакций восстановления оксидов цветных металлов и железа. Установлена высокая термодинамическая вероятность восстановления меди из ее оксида при обработке шлака природным газом. Убыль энергии Гиббса  $\Delta G_{1573K} = -481,2$  кДж/моль более чем в два раза превышает изменение энергии Гиббса, полученное при восстановлении оксида меди углем ( $\Delta G_{1573K} = -192,3$  кДж/моль). Показано, что в условиях отсутствия угля и коллектирующей металлической фазы ожидать выделения меди в самостоятельную донную фазу не следует в силу относительно невысокого содержания меди в исходном шлаке. Рассчитаны термодинамические величины, определяющие равновесие системы: шлак – сплав. Установлены активность оксида меди (I) в шлаке и активность меди в сплаве, которые были использованы для раскрытия механизма растворимости меди в шлаке с точки зрения ионной природы строения оксидных расплавов. Установлены закономерности растворимости меди в шлаке в зависимости от активности меди CuO<sub>0,5</sub> и парциального давления кислорода. Показано, что термодинамические закономерности растворимости меди, протекающие в условиях глубоко восстановительного обеднения высокомедистых шлаков, подчиняются закону Генри.

**Ключевые слова:** шлак, природный газ, уголь, обеднение, парциальное давление кислорода, перемешивание, энергия Гиббса, активность, медь, железо, сплав, свинцово-цинковые возгоны, мышьяк

**THERMODYNAMICS OF RESTORATIVE SUSPENSION Cu-Me-Fe-O-SiO<sub>2</sub>  
(Me – Pb, Zn, As) SYSTEMS BY NATURAL GAS**
**<sup>1</sup>Dosmukhamedov N.K., <sup>2</sup>Fedorov A.N., <sup>1</sup>Zholdasbay E.E.**
*<sup>1</sup>Kazakh National Research Technical University named K.I. Satpaev, Almaty, e-mail: nurdos@bk.ru;*
*<sup>2</sup>National Research Technological University «MISIS», Moscow*

The results of the thermodynamic analysis of the behavior of Cu, Pb, Zn and As under conditions of deep reduction ( $P_{O_2} = 10^{-11} \div 10^{-13}$  atm) of the two-stage depletion of high-copper slags with natural gas in the presence of coal at a temperature of 1300 °C are presented. Particular attention is paid to the complete removal of arsenic from slag and obtaining high-quality products: a metal alloy based on copper and lead-zinc sublimates. Based on a comparative analysis of calculated Gibbs energy of interaction of non-ferrous oxides and arsenic with natural gas, with calculated values of Gibbs energy loss obtained for the conditions of slag recovery by coal, the possibility of deep recovery of non-volatile arsenic oxide (V) with natural gas to its volatile oxide (III). It is shown that the calculated values of  $\Delta G^0_T$  for the reaction of interaction of arsenic oxide with natural gas at given temperatures not less than twice (in absolute value) exceed the values of  $\Delta G^0_T$  for the reduction reactions of non-ferrous metals and iron oxides. A high thermodynamic probability of copper recovery from its oxide during the treatment of slag with natural gas has been established. The Gibbs energy loss  $\Delta G_{1573K} = -481.2$  kJ / mol is more than two times greater than the change in Gibbs energy obtained by reducing copper oxide with carbon ( $\Delta G_{1573K} = -192.3$  kJ / mol). It is shown that in the absence of coal and the collecting metal phase, copper should not be expected to be released into an independent bottom phase due to the relatively low copper content in the original slag. The thermodynamic quantities that determine the equilibrium of the system are determined: slag – alloy. The activity of copper (I) oxide in slag and the activity of copper in the alloy, which were used to disclose the mechanism of copper solubility in slag from the point of view of the ionic nature of the structure of oxide melts, are calculated. The regularities of the change in the copper content in the slag depending on the copper activity CuO<sub>0.5</sub> and the partial pressure of oxygen are established. It is shown that the thermodynamic laws of copper solubility, occurring in conditions of deeply restorative depletion of high-copper slag, obey Henry's law.

**Keywords:** slag, natural gas, coal, depletion, oxygen partial pressure, mixing, Gibbs energy, activity, copper, iron, alloy, lead-zinc sublimates, arsenic

Процессы автогенной плавки медных концентратов на богатый штейн характеризуются повышенным содержанием меди в шлаках, что требует дальнейшей их пере-

работки с целью ее извлечения [1, 2]. Обеднение шлаков включает в себя снижение механических и растворенных потерь меди со шлаками. При этом если решение во-

проса осаждения механически увлеченных штейновых включений в шлаке представляет традиционную задачу, то снижение растворенных потерь меди со шлаком требует термодинамического анализа. В литературе известен ряд работ, посвященных изучению данного вопроса в широком диапазоне изменения парциального давления кислорода – от окислительных ( $P_{O_2} = 10^{-6} \div 10^{-8}$  атм), до восстановительных ( $P_{O_2} = 10^{-9} \div 10^{-11}$  атм) условий. Системные исследования по изучению растворимости меди в железосиликатных расплавах проведены авторами работ [3–5]. Влияние незначительных добавок MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и CaO на растворимость меди в железосиликатных шлаках опубликовано в исследованиях [6–8]. В работе [9] исследована растворимость меди в кальций-ферритовых шлаках, насыщенных кремнеземом. Анализ состава шлака, использованного для проведения экспериментальных исследований двухстадийного восстановительного его обеднения природным газом [10], показывает идентичность с составами шлаков известных работ, что позволяет провести сравнительную оценку полученных результатов с общих позиций – с точки зрения термодинамики равновесия системы: металл (сплав) – шлак.

Цель настоящих исследований – термодинамический анализ поведения меди и сопутствующих примесей при двухстадийном восстановительном обеднении высококремнистых шлаков и изучение растворимости меди в железосиликатном расплаве при равновесии в системе: металл (сплав) – шлак.

#### Материалы и методы исследования

Оценка вероятного направления реакций взаимодействия компонентов высококремнистого шлака с природным газом в присутствии угля проводилась на основании расчета изменения энергии Гиббса ( $\Delta G^0_T$ ) в зависимости от температуры. Термодинамический анализ взаимодействия оксидов цветных металлов, железа и мышьяка с твердым углем представлен в работе [11]. В настоящей работе основное внимание уделено исследованию поведения меди, свинца, цинка, железа и мышьяка при глубоко восстановительном обеднении шлака природным газом.

Исходные данные стандартного состояния веществ, принятых для проведения термодинамических расчетов, получены из веб-сайта NIST-JANAF Thermochemical Tables (<http://kinetics.nist.gov/janaf>).

Термодинамический анализ проведен на основе результатов экспериментальных исследований двухстадийного восстановления природным газом шлаков процесса

«Isasmelt» (ТОО «Казцинк») следующего состава, %: 0,66 Cu; 1,02 Pb; 4,22 Zn; 0,1 As; 38,4 Fe; 30,3 SiO<sub>2</sub>; 4,1 CaO; 5,1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,5 MgO [10].

#### Результаты исследования и их обсуждение

##### *Термодинамический анализ поведения цветных металлов, железа и мышьяка в условиях двухстадийного восстановительного обеднения высококремнистых шлаков*

Результаты ранее выполненных термодинамических расчетов энергии Гиббса реакций восстановления компонентов шлака углем [11], как одного из предпочтительных способов обеднения шлаков, показали селективное извлечение цветных металлов в целевые продукты: меди – в донную фазу (металлический сплав), свинца и цинка – в газы. Однако это требует большого избытка угля от теоретически необходимого его расхода для восстановления оксидов цветных металлов и железа. Кроме того, в этих условиях наблюдается повышенный переход железа и мышьяка в донную фазу, что значительно снижает качество получаемого медного сплава и ограничивает его дальнейшее использование.

Наиболее рациональным и эффективным представляется способ двухстадийного восстановительного обеднения шлака с использованием природного газа [10], который включает селективное разделение металлов в целевые продукты. На первой стадии – путем обработки шлакового расплава природным газом – максимально удаляется мышьяк в пыль, газы в виде легколетучего его триоксида (As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). На второй стадии осуществляется продувка шлака природным газом в присутствии угля, что обеспечивает глубокое удаление мышьяка из шлака, высокое извлечение меди в металлический сплав и свинца, цинка – в форме возгонов, выносимых из реакционной зоны отходящими газами.

Механизм восстановления оксидов цветных металлов, железа и мышьяка природным газом можно представить системой реакций, приведенных в табл. 1.

Выделяющиеся по реакциям (1)–(5) СО и СО<sub>2</sub>, не вступая во взаимодействие с компонентами шлака, выносятся из реакционной зоны вместе с отходящими газами ввиду их малого времени пребывания в реакционной зоне.

Сравнительный анализ расчетных значений изменения энергии Гиббса восстановления оксидов цветных металлов и мышьяка природным газом (табл. 1),

с расчетными величинами убыли энергии Гиббса, полученными для условий восстановления шлака углем, показывают возможность глубокого восстановления нелетучего оксида мышьяка (V) природным газом до его летучего оксида (III). Расчетные значения  $\Delta G_T^0$  реакции (4) при заданных температурах не менее чем в два раза (по абсолютной величине) превышают значения  $\Delta G_T^0$  реакций восстановления оксидов цветных металлов и железа (табл. 1), что свидетельствует о высокой вероятности восстановления  $As_2O_5$  до легколетучего оксида мышьяка ( $As_2O_3$ ) и удаления его с отходящими газами. Данное положение полностью подтверждено результатами экспериментальных исследований: после первой стадии продувки шлака природным газом при расходе природного газа, превышающем его расход от стехиометрически необходимого его расхода для восстановления  $As_2O_5$  до  $As_2O_3$  на 30%, содержание мышьяка в конечном шлаке было снижено с 0,1% до 0,01%.

Очень высока термодинамическая вероятность восстановления меди из ее оксида при обработке шлака природным газом. Убыль энергии Гиббса по реакции (1)  $\Delta G_{1573K} = -481,2$  кДж/моль более чем в два раза превышает изменение энергии Гиббса, полученное при восстановлении оксида меди углем ( $\Delta G_{1573K} = -192,3$  кДж/моль). В условиях отсутствия угля и коллектирующей металлической фазы ожидать выделения меди в самостоятельную донную фазу не следует в силу относительно невысокого содержания меди в исходном шлаке. При этом металлическая медь, образующаяся в небольшом количестве по реакции (1), присутствует в шлаке в виде мелко диспергированных металлических включений.

Дополнительный ввод металлической меди в качестве коллектора во второй стадии и интенсивный барботаж шлакового

расплава природным газом в присутствии угля создают благоприятные условия для коалесценции мелкой взвеси металлической меди в более крупные капли и последующего выделения их в самостоятельный донный сплав. При этом образование механических потерь меди со шлаком сводится к минимуму, и остаточное содержание меди в шлаке определяется лишь ее незначительной растворимостью.

Обеспечение глубоко восстановительных условий (добавка угля, продувка природным газом) значительно повышает термодинамическую вероятность восстановления оксида цинка и свинца. Расчетные значения убыли энергии Гиббса реакций (2) и (3) при температуре ведения процесса обеднения шлака (1300°C) превышают  $\Delta G_{1573}^0$  реакции (5) – восстановления оксида железа природным газом. В условиях двухстадийного обеднения вероятность восстановления железа из его оксида будет носить подчиненный характер в силу недостаточного избытка угля и низкой температуры. Кроме того, образование металлического железа будет затруднено, пока в шлаке присутствуют оксиды меди, свинца и цинка. Минимальное количество металлического железа, переходящего из шлака в сплав по реакции (5), существенного влияния на качество и свойства получаемого сплава не окажет. Данное положение полностью подтверждается результатами экспериментальных исследований: содержание железа в получаемых сплавах с ростом расхода природного газа увеличивается незначительно – до 0,13% [10].

#### Термодинамика равновесия системы сплав – шлак

В системе сплав – шлак активность оксида меди (I) в шлаке определяется равновесием реакции



Таблица 1

Расчетные значения энергии Гиббса ( $\Delta G_T^0$ ) для высокотемпературной обработки оксидной системы Cu-Pb-Zn-As-Fe-O-SiO<sub>2</sub> природным газом

№	Реакция	Изменение энергии Гиббса, $\Delta G_T^0$ , кДж/моль			
		Температура, К			
		1273	1473	1573	1273...1573
1	$3Cu_2O_{ж} + CH_4 = 6Cu_{ж} + CO_{г} + 2H_2O_{г}$	-395,8	-456,5	-481,2	$\Delta G_T^0 = -33,2 - 0,286 \cdot T$
2	$3ZnO_{ж} + CH_4 = 3Zn_{г} + CO_{г} + 2H_2O_{г}$	3,5	-133,6	-201,5	$\Delta G_T^0 = -881,06 - 0,689 \cdot T$
3	$3PbO_{ж} + CH_4 = 3Pb_{г} + CO_{г} + 2H_2O_{г}$	-141,2	-253,2	-308,1	$\Delta G_T^0 = 585,6 - 0,572 \cdot T$
4	$2As_2O_{5ж} + CH_4 = 2As_2O_{3г} + CO_{2г} + 2H_2O_{г}$	-943,2	-1064,0	-1122,7	$\Delta G_T^0 = -171,76 - 0,605 \cdot T$
5	$3FeO_{ж} + CH_4 = 3Fe_{ж} + CO_{г} + 2H_2O_{г}$	-105	-167,0	-197,6	$\Delta G_T^0 = 291,3 - 0,311 \cdot T$



Таблица 2

Расчетные значения  $a_{\text{CuO}0.5}$ ,  $P_{\text{O}_2}$  и  $a_{\text{Cu}}$  в сплаве в условиях восстановительного обеднения шлаков природным газом

№ опыта	Расход $\text{CH}_4$ , %	(Cu), %	$N_{\text{CuO}0.5}$	$a_{\text{CuO}0.5}$	$\log P_{\text{O}_2}$ , атм	$a_{\text{Cu}}$
1	10	0,41	0,0023	0,019	-11,20	0,74
2	20	0,32	0,0018	0,014	-11,69	0,78
3	30	0,23	0,0013	0,009	-12,34	0,83
4	40	0,21	0,0011	0,008	-12,55	0,84
5	50	0,17	0,0010	0,007	-12,90	0,86
6	60	0,14	0,0008	0,005	-13,34	0,88

Константу равновесия ( $K_1$ ) реакции (1) можно представить в виде

$$K_1 = a_{\text{CuO}0.5} / a_{\text{Cu}} * P_{\text{O}_2}^{1/4}. \quad (2)$$

Исходя из уравнения (2)  $a_{\text{CuO}0.5}$  определяется как

$$a_{\text{CuO}0.5} = K_1 * a_{\text{Cu}} * P_{\text{O}_2}^{1/4}, \quad (3)$$

или, в альтернативном виде:

$$a_{\text{CuO}0.5} = \gamma_{\text{CuO}0.5} * N_{\text{CuO}0.5}, \quad (4)$$

где  $\gamma_{\text{CuO}0.5}$  – коэффициент активности оксида меди (I);

$N_{\text{CuO}0.5}$  – мольная доля оксида меди в шлаке (I).

Из выражения (3) видно, что  $a_{\text{CuO}0.5}$  определяется активностью меди ( $a_{\text{Cu}}$ ), парциальным давлением кислорода ( $P_{\text{O}_2}$ ) над шлаковым расплавом и температурой. В нашем случае активность меди не равна единице, так как шлак находится в контакте не с чистой медью, а с раствором железа в меди. Термодинамический анализ затрудняется тем, что состав шлака зависит от парциального давления кислорода. Следовательно, как коэффициент активности, так и мольная доля оксида меди являются функцией парциального давления кислорода. Таким образом, при  $T = \text{const}$  для термодинамического описания системы сплав – шлак достаточно определить величины  $P_{\text{O}_2}$  и  $a_{\text{CuO}0.5}$ .

Для расчета парциального давления кислорода применена процедура эволюционной аппроксимации результатов экспериментальных данных работ [3, 5, 7, 9], где исследована растворимость меди в железосиликатных шлаках при температуре 1300 °С в широком диапазоне изменения парциального давления кислорода – от окислительных ( $P_{\text{O}_2} = 10^{-7}$  атм) до восстановительных условий ( $P_{\text{O}_2} = 10^{-10}$  атм). Сравнительный анализ составов исходных шлаков и условий проведения опытов указанных работ с исследованиями настоящей работы показывает их идентичность, что предполагает возможность использования зависимости (5), установленной в работе [9], для расчета пар-

циального давления кислорода над шлаком в зависимости от содержания меди в шлаке.

$$\lg(\text{Cu}) = 0,221 \lg P_{\text{O}_2} + 2,09, \quad (5)$$

где Cu – содержание меди в шлаке, % мас.;  $P_{\text{O}_2}$  – парциальное давление кислорода, атм.

Выбор зависимости (5) обусловлен ее универсальностью, позволяющей применять ее для расчета растворимости меди в железосиликатных шлаках в широком диапазоне изменения их состава и парциального давления кислорода. Результаты расчетных значений  $P_{\text{O}_2}$  по уравнению (5) показали хорошую сходимость данных по растворимости меди в шлаках, полученных в работах [3, 5, 7, 9] и настоящих исследованиях.

Для расчета активности оксида меди (I) в шлаке использовали уравнение (6), приведенное в работе [9], где зависимость содержания меди в шлаке от активности оксида меди (I) в нем определена при условиях, идентичных условиям настоящей работы: температура 1300 °С, содержание CaO и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в шлаке 4,0 и 6,0 % соответственно:

$$(\text{Cu}) = 20,1 * a_{\text{CuO}0.5} + 0,03. \quad (6)$$

После определения значений парциального давления кислорода ( $P_{\text{O}_2}$ ) и  $a_{\text{CuO}0.5}$  проводился расчет активности меди в сплаве ( $a_{\text{Cu}}$ ) для каждой серии опытов исходя из выражения (2). Результаты расчетов мольной доли ( $N_{\text{CuO}0.5}$ ) и активности ( $a_{\text{CuO}0.5}$ ) оксида меди (I) в шлаке, парциального давления кислорода над шлаком ( $\log P_{\text{O}_2}$ ) и  $a_{\text{Cu}}$ , полученные с использованием экспериментальных данных [10], представлены в табл. 2.

В глубоко восстановительных условиях обеднения шлака содержание железа в сплаве, минимально (максимальное содержание железа в сплаве  $[\text{Fe}]_{\text{Cu}}$  для опыта 6 (табл. 2) достигает 0,12 %), что характеризует бинарную систему Cu-Fe вблизи медного края диаграммы. При минимальном содержании железа в сплаве можно принять  $[\text{Fe}]_{\text{Cu}} \approx N_{[\text{Fe}]_{\text{Cu}}}$ . Тогда зависимость

$a_{Cu} = f([Fe]_{Cu})$  должна описывать закономерность, свойственную бесконечно разбавленным растворам с подчинением закону Генри. И действительно, изменение активности меди в сплаве от ее мольной доли и содержания железа в нем, показанное на рис. 1, подтверждает данное положение и характеризует сплав как бесконечно разбавленный раствор железа в меди.

Изменение  $a_{CuO 0.5}$  и мольной доли  $N_{CuO 0.5}$  оксида меди в шлаках, уравновешенных с медно-железистым сплавом, в условиях глубокого восстановительного

обеднения при различных значениях  $P_{O_2}$ , показано на рис. 2.

Установленная зависимость  $a_{CuO 0.5}$  от мольной доли  $N_{CuO 0.5}$  в шлаке показывает, что растворимость меди в шлаках каждой опции опытов подчиняется закону Генри. В глубоко восстановительных условиях ( $P_{O_2} < 10^{-11}$  атм) растворимость меди в шлаке минимальна. Значения коэффициента активности оксида меди ( $\gamma_{CuO 0.5}$ ), рассчитанные из выражения (4), для каждого опыта (1–6, табл. 2) равны: 8,3; 7,8; 6,9; 7,3; 7,0 и 6,25 соответственно.

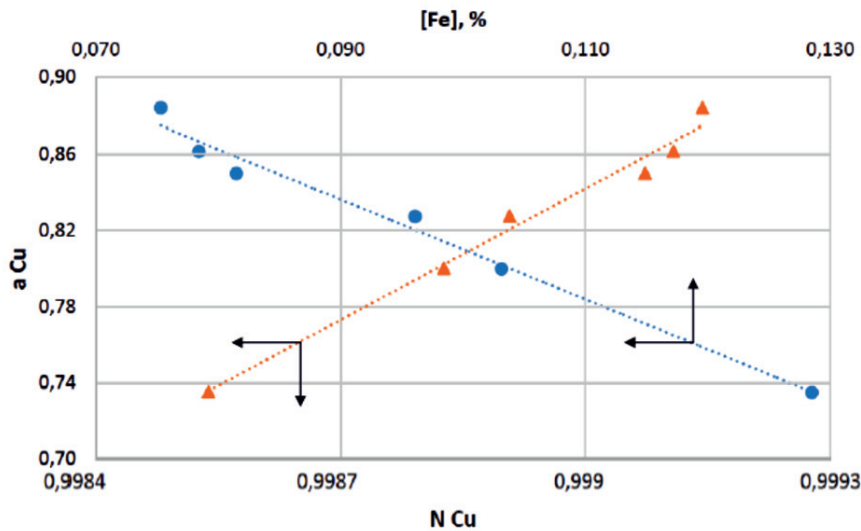


Рис. 1. Зависимость активности меди в сплаве от мольной доли и содержания железа в нем

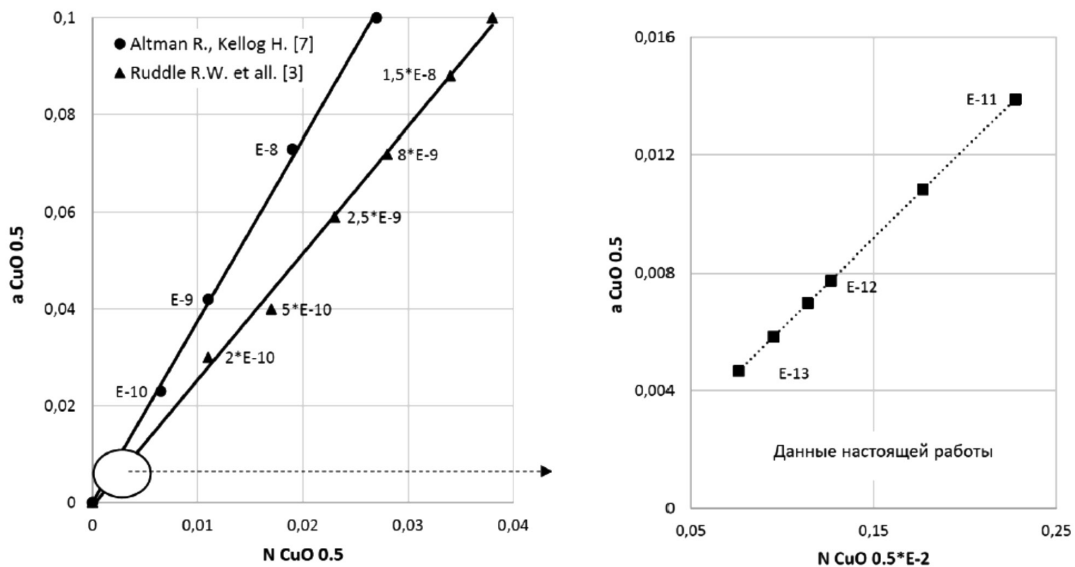


Рис. 2. Изменение активности оксида меди ( $a_{CuO 0.5}$ ) от мольной доли ( $N_{CuO 0.5}$ ) в шлаке. Цифры на рисунках – значение  $P_{O_2} = 10^{-n}$ , атм.

Линейная зависимость содержания растворенной в шлаке меди от  $a_{\text{CuO}0,5}$ , показанная на рис. 3, указывает на то, что изменение состава растворителя (шлака) от числа молей компонентов шлака, из расчета на удельную массу шлака, меньше экспериментальной ошибки. В этом случае содержание меди в шлаке прямо пропорционально мольной доле и активности оксида меди ( $\text{CuO}_{0,5}$ ).

На рис. 4 показана зависимость изменения содержания меди в шлаке от парциального давления кислорода ( $P_{\text{O}_2}$ ).

Согласно ионной теории строения шлаков растворимость меди в шлаке падает с ростом температуры, повышением  $\gamma_{\text{CuO}0,5}$  снижающего  $a_{\text{CuO}0,5}$  и уменьшением кислородного потенциала [6, 12, 13]. Установленные закономерности, представленные

на рис. 3 и 4, полностью подтверждают это положение и показывают хорошую согласованность с данными работ [3, 9].

При фиксированных значениях активности меди в шлаке, давления кислорода и температуры, растворимостью меди в шлаке можно оперировать варьированием  $\gamma_{\text{CuO}0,5}$ , величина которого определяется ионными взаимодействиями, происходящими в шлаке.

Как известно, железосиликатные расплавы содержат высокополимерные силикатные анионы ( $\text{Si}_x\text{O}_y^{z-}$ ), катионы двух- ( $\text{Fe}^{2+}$ ) и трехвалентного железа ( $\text{Fe}^{3+}$ ) и незначительную концентрацию свободных анионов кислорода ( $\text{O}^{2-}$ ). При этом ионные взаимодействия  $\text{Fe}^{2+} - \text{O}^{2-}$  и  $\text{Fe}^{3+} - \text{O}^{2-}$ , в которых анион  $\text{O}^{2-}$  представляет собой кислород, происходят на силикатном анионе  $\text{Si}_x\text{O}_y^{z-}$  [6, 13].

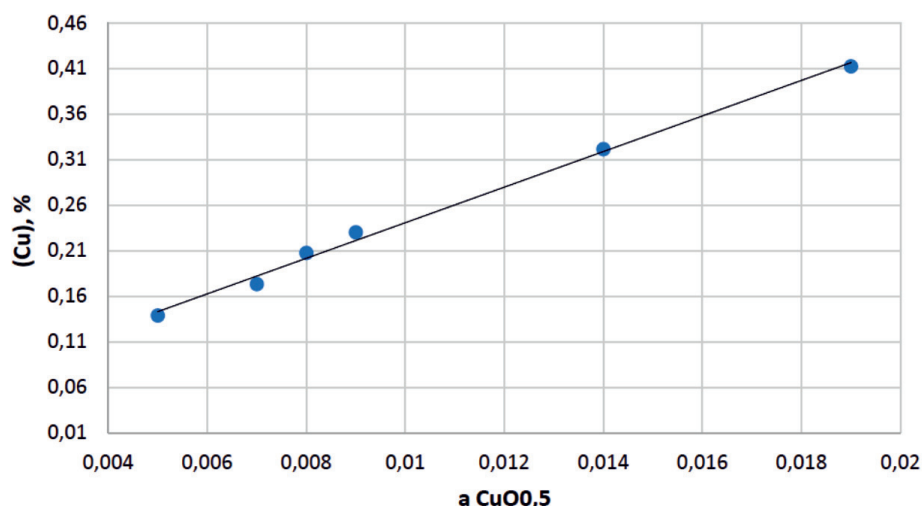


Рис. 3. Зависимость содержания меди в шлаке от  $a_{\text{CuO}0,5}$

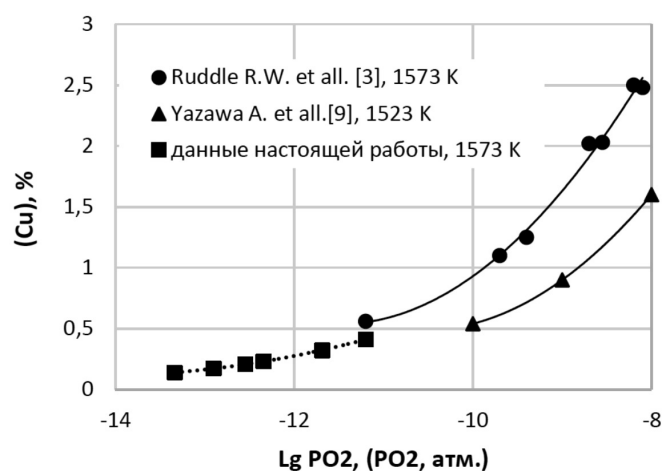


Рис. 4. Зависимость содержания меди в шлаке от парциального давления кислорода ( $P_{\text{O}_2}$ )

Наличие меди в шлаке обуславливает взаимодействие катиона  $\text{Cu}^+$  с анионом кислорода  $\text{O}^{2-}$ . Как показали результаты минералогических исследований твердых проб шлаков каждой серии опытов, содержание магнетита в них практически сведено к минимуму. Смещение редокс-перехода  $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$  в сторону двухвалентного железа и наличие высокоосновного оксида  $\text{CaO}$  способствует образованию ферритовых анионов. Следовательно, конечные расплавы будут содержать ферриты, свободные анионы кислорода и катионы  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$ . В таких расплавах предпочтительными будут взаимодействия катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  с анионом кислорода ( $\text{O}^{2-}$ ). Наличие меди в шлаке, по-видимому, будет определяться взаимодействием катиона меди  $\text{Cu}^+$  со свободным анионом кислорода, присутствующего в ферритном анионе. Доказательством данного предположения может служить факт, что медь в шлаковых расплавах, полученных после обеднения, в форме силиката не обнаружена. Следовательно, оксид меди (I), взаимодействуя с оксидом железа, связывается в устойчивое соединение дельфоссит ( $\text{CuFeO}_2$ ), которое было обнаружено в твердых пробах шлаков, полученных в результате минералогических исследований.

### Выводы

1. На основании результатов экспериментальных исследований проведен термодинамический анализ поведения  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$  и  $\text{As}$  в условиях глубоко восстановительного ( $P_{\text{O}_2} = 10^{-11} - 10^{-13}$  атм) двухстадийного обеднения высокомедистых шлаков природным газом в присутствии угля.

2. Рассчитаны активность оксида меди (I) в шлаке и активность меди в сплаве, которые были использованы для раскрытия механизма растворимости меди в шлаке с точки зрения ионной природы строения оксидного расплава.

3. Показано, что термодинамические закономерности растворимости меди

в шлаках, протекающие в условиях глубокого восстановительного обеднения высокомедистых шлаков, подчиняются закону Генри.

### Список литературы

1. Бодуэн А.Я., Петров Г.В., Мардарь И.И., Иванов Б.С. Извлечение благородных и цветных металлов из техногенного сырья Норильского промышленного региона: практика и исследования // Успехи современного естествознания. 2013. № 3. С. 143–145.
2. Wang Q.M., Guo X.Y., Tian Q.H. Copper smelting mechanism in oxygen bottom-blown Furnace. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. 2017. № 27. P. 946–953.
3. Ruddle R.W., Taylor B., and Bates A.P. The solubility of copper in iron silicate slags. *Trans. IMM*. 1966. Vol. 75. P. 1–12.
4. Li W.F., Zhan J., Fan Y.Q., Wei C., Zhang C.F., Hwang J.Y. Research and industrial application of a 282 process for direct reduction of molten high-lead smelting slag. *JOM*. 2017. № 69. P. 784–789.
5. Djordjevic P., Natasa Mitevska N., Mihajlovic I. et al. Effect of the slag basicity on the coefficient of distribution between copper matte and the slag for certain metals. *Mineral Processing & Extractive Metall. Rev.* 2014. № 35. P. 202–207.
6. Zivkovic Z., Mitevska N., Mihajlovic I., Nikolic D. The influence of the silicate slag composition on copper losses during smelting of the sulfide concentrates. *JOM*. 2009. № 45 (1) B. P. 23–34.
7. Altman R., Kellogg H.H. Solubility of copper in silica-saturated iron silicate slag. *Trans. IMM*. 1972. Vol. 81 C. P. 163–175.
8. Coursol P., Valencia N.C., Mackey Ph., Bell S., Davis B. Minimization of Copper Losses in Copper Smelting Slag During Electric Furnace Treatment. *JOM*. September 2012.
9. Yazawa A., Takeda Y. Equilibrium Relations between Liquid Copper and Calcium Ferrite Slag. *Trans. Jpn. Inst. Met.* 1982. Vol. 23. P. 328–333.
10. Досмухамедов Н.К., Федоров А.Н., Жолдасбай Е.Е. Распределение  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$  и  $\text{As}$  между продуктами двухстадийного восстановительного обеднения высокомедистых шлаков // Цветные металлы. 2019. № 7. С. 7–12.
11. Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е., Нурлан Г.Б. Термодинамические закономерности восстановления высокомедистых шлаков углем // Новости науки Казахстана. 2019. № 1. С. 107–121.
12. Sinclair R.G. The Extractive Metallurgy of Lead. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 2009. 297 p.
13. Котыхов М.И., Федоров А.Н., Лукавый С.Л., Хабиев Р.П. Изучение распределения меди между шлаком и свинцом в барботажном восстановительном процессе // Цветные металлы. 2014. № 2. С. 40–44.



УДК 504.064.3

## МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ $^{85}\text{Kr}$ В АТМОСФЕРЕ ПО ПРОБАМ КРИПТОНА, ОТОБРАННЫМ В НОРИЛЬСКЕ

<sup>1</sup>Епифанова И.Э., <sup>2</sup>Иванов В.Н., <sup>2</sup>Тертышник Э.Г., <sup>2</sup>Епифанов А.О., <sup>2</sup>Сахибгареев Д.Г.

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»,  
Обнинск, e-mail: epifan.obninsk@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета РФ,  
Обнинск, e-mail: epifanov@rpatyphoon.ru

Приведено описание метода определения содержания  $^{85}\text{Kr}$  в приземном слое атмосферы с помощью гамма-спектрометрии образцов технического криптона, отобранных с использованием промышленных воздуходелительных установок. Даны результаты измерений содержания  $^{85}\text{Kr}$  в некоторых пунктах территории Российской Федерации. Отмечены преимущества метода, приведенного в данной работе, при проведении мониторинга базового (фонового) уровня активности  $^{85}\text{Kr}$  в атмосфере по сравнению с методами, используемыми специалистами в Западной Европе: отбор проб воздуха с применением промышленных воздуходелительных установок обеспечивает более высокий, а следовательно, более представительный объем получаемых проб. Кроме того, при большом объеме проб исследователи получают возможность использования гамма-анализа, который характеризуется большей избирательностью и стабильностью, чем бета-счёт в методах зарубежных специалистов. Отмечено, что базовый уровень активности  $^{85}\text{Kr}$  в атмосферном воздухе изменяется очень медленно. Поэтому достоверное определение превышения этого базового уровня может быть использовано для установления факта недеklarированной переработки отработанного ядерного топлива с целью извлечения из него плутония. В работе поднимается проблема целесообразности возобновления регулярных наблюдений за содержанием радиоактивного криптона в атмосфере над территорией РФ.

**Ключевые слова:** криптон-85, мониторинг атмосферного воздуха, промышленные воздуходелительные установки, гамма-спектрометрия, Норильск

## MONITORING OF $^{85}\text{Kr}$ 'S CONTENT IN ATMOSPHERE BY CRYPTON SAMPLES FROM NORILSK

<sup>1</sup>Epifanova I.E., <sup>2</sup>Ivanov V.N., <sup>2</sup>Tertyshnik E.G., <sup>2</sup>Epifanov A.O., <sup>2</sup>Sakhigareev D.G.

<sup>1</sup>Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, e-mail: epifan.obninsk@gmail.com;

<sup>2</sup>Research and Production Association «Typhoon» of Roshydromet RF, Obninsk,  
e-mail: epifanov@rpatyphoon.ru

The method for determining the  $^{85}\text{Kr}$  content in the atmospheric surface layer by gamma-spectrometry of commercial crypton samples taken from industrial air separation plants is described. Measuring results of  $^{85}\text{Kr}$  content in atmospheric air samples taken within several points of the territory Russia are presented. It is shown that described in this paper method has advantages in comparison with others which West Europe specialists using – by air separation plant there is the possibility to achieve samples of higher volume, and, consequently, more representative selected samples than by laboratory methods. Alongside this under conditions of higher volume samples there is possibility for researches to apply gamma-spectrometry methods which characterized by more selectivity and stability than beta count in foreign specialists methods. It is noted that the basic level of  $^{85}\text{Kr}$  activity in atmospheric air changes very slowly. Therefore firmly reliable determination exceedance this level may indicate an unreported processing of spent nuclear fuel (SNF) with aim to extract plutonium. The problem of the requirement for resumption of regular observations for radioactive Kr content in atmospheric air across the RF territory is also noted in this article.

**Keywords:** crypton-85, atmospheric air's monitoring, industrial air separation plants, gamma-spectrometry, Norilsk

Газообразный долгоживущий продукт деления  $^{85}\text{Kr}$  (период полураспада 10,739 лет) вносит существенный вклад в радиоактивное загрязнение атмосферы планеты [1, 2]. Теоретические расчёты рассеяния  $^{85}\text{Kr}$  в атмосфере с использованием моделей глобальной диффузии позволяют построить широтный ход средней концентрации  $^{85}\text{Kr}$  в приземном слое атмосферы для источника с постоянной мощностью выброса (1 Ки/год), расположенного в широтном поясе 30–50° с.ш. [3–5]. При расчёте глобального запаса произведение объёма ат-

мосферы на среднегодовое содержание  $^{85}\text{Kr}$  в умеренных широтах северного полушария необходимо умножить на коэффициент 0,8, учитывающий неравномерность распределения  $^{85}\text{Kr}$  между полушариями [1]. Пренебрегая  $^{85}\text{Kr}$ , который содержится в мировом океане, с учетом, что общий объём атмосферы равен  $4 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$  (при нормальной температуре и давлении), можно оценить, что удельной объёмной активности  $^{85}\text{Kr}$  1 Бк/м<sup>3</sup> воздуха, зафиксированной в умеренных широтах северного полушария, соответствует глобальный запас  $3,2 \cdot 10^{18}$  Бк

(86 МКи). В настоящее время пополнение атмосферного резервуара  $^{85}\text{Kr}$  происходит за счёт техногенного воздействия предприятий атомной отрасли (комбинатов по переработке отработавшего ядерного топлива, в меньшей степени – от выбросов атомных электростанций) [4, 6].

Задачи определения содержания  $^{85}\text{Kr}$  в атмосферном воздухе и наблюдения его динамики являются важной составляющей радиологического мониторинга окружающей среды. Данная работа представляет интерес для специалистов, занимающихся проблемами мониторинга приземного слоя атмосферы: в ней изложен опыт работ по оценке глобального (базового) уровня загрязнения атмосферы  $^{85}\text{Kr}$  с применением промышленных воздуходелительных установок для получения образцов технического криптона при проведении радиологического мониторинга.

*Особенности использования лабораторных портативных и промышленных установок при подготовке проб воздуха*

Исследования по определению содержания  $^{85}\text{Kr}$ , выполненные специалистами Германии, Швейцарии и Японии с применением лабораторных портативных установок для извлечения криптона из воздуха, приведены в [7, 8]. В этих установках используется пропускание воздуха через ловушку с активированным углем или силикагелем, охлаждаемому жидким азотом, с последующей фракционированной десорбцией и разделением фракций воздуха методом газовой хроматографии. Объём пробы воздуха, из которой извлекается криптон (ксенон), составляет  $10\text{ м}^3$  [8]. Поскольку в  $1\text{ м}^3$  воздуха содержится  $1,14\text{ см}^3$  криптона, объём выделенной пробы криптона с учётом неполного извлечения составляет всего несколько  $\text{см}^3$  (при нормальной температуре и давлении). Активность  $^{85}\text{Kr}$  в пробе определяется с помощью низкофоновой радиометрической аппаратуры с использованием бета-счетчиков. В [8] приведены результаты еженедельных определений содержания  $^{85}\text{Kr}$  во Фрайбурге (Freiburg, FRG) и в обсерватории Юнгфрау-йоч (Jungfrau-joch), расположенной в горах Швейцарии. Наблюдается большой разброс результатов, обусловленный как малым объёмом проб криптона, выделяемых лабораторной установкой из атмосферного воздуха, так и близостью пунктов отбора к предприятиям по регенерации ядерного топлива.

Определение активности  $^{85}\text{Kr}$  в атмосфере с использованием лабораторных установок имеет ряд преимуществ. С их помощью детектируются выбросы радиоактивных изотопов ксенона и криптона при подземных испытаниях ядерного оружия.

Такие установки можно разместить вблизи границ государств, которые подозреваются в нарушении Договора о нераспространении ядерного оружия, для обнаружения превышения объёмной активности  $^{85}\text{Kr}$  над уровнем глобальной активности (базовый уровень) этого радионуклида – такое превышение однозначно свидетельствует об операциях с облучённым ядерным топливом, направленных на получение оружейного плутония [9, 10].

Но для мониторинга глобального (базового) уровня загрязнения атмосферы  $^{85}\text{Kr}$ , по мнению авторов данной работы, целесообразнее измерение активности в образцах криптоноксеноновой смеси, выделяемых из атмосферы с помощью промышленных воздуходелительных установок. Поскольку отбор проб криптоноксеноновой смеси производится из стандартного баллона объёмом  $40\text{ л}$  при давлении в нём  $60\text{ кг/см}^2$ , объём криптона в баллоне составляет  $2,20\text{--}2,3\text{ м}^3$  (в зависимости от содержания в смеси ксенона), и этот объём криптона выделен из  $1,97\cdot 10^6\text{ м}^3$  воздуха. Из чего следует, что пробы криптоноксеноновой смеси более чем в  $2\cdot 10^5$  раз представительнее, чем пробы, отбираемые с помощью лабораторных установок, которые извлекают криптон из  $10\text{ м}^3$  воздуха с эффективностью менее  $80\%$ . Кроме того, пробы большой массы (объёма) позволяют использовать для измерений активности  $^{85}\text{Kr}$  гамма-спектрометрию, которая по сравнению с методами измерения бета-активности характеризуется существенно большей избирательностью и стабильностью. Гамма-спектрометрия даёт возможность зарегистрировать в пробе присутствие радиоактивных изотопов ксенона ( $^{131\text{m}}\text{Xe}$ ,  $^{133\text{m}}\text{Xe}$  и  $^{135}\text{Xe}$ ). Эти радионуклиды поступают в атмосферу при ядерных взрывах и авариях на ядерных установках. Если воздушные массы, переносящие радиоактивные изотопы ксенона, проходят через точку отбора пробы, то гамма-излучение радиоксенона будет зарегистрировано.

#### Материалы и методы исследования

Для измерения проб технического криптона по гамма-излучению был изготовлен баллон измерительный, конструкция которого приведена на рис. 1. Нижняя часть стандартного газового баллона объёмом  $2\text{ л}$ , предназначенного для заполнения газом до давления  $150\text{ кг/см}^2$ , была срезана и заменена приварен стальной колпак (внутренний диаметр  $71\text{ мм}$ ). Толщина торцевой стенки колпака, через которую основная часть гамма-излучения попадает на детектор –  $3\text{ мм}$ . Ослабление потока гамма-квантов  $^{85}\text{Kr}$  с энергией  $514\text{ кэВ}$  поглотителем из железа толщиной  $0,3\text{ см}$  не превышает  $20\%$ .

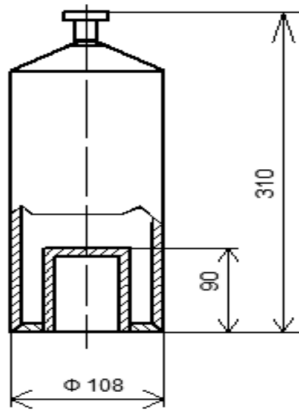


Рис. 1. Конструкция баллона измерительного для гамма-спектрометрии проб технического криптона

На рис. 2 показано размещение баллона измерительного (3) относительно детектора (4) внутри защитной камеры (2) из свинца. Крышка защитной камеры (1) раздвигается, чтобы установить баллон с измеряемой пробой внутрь камеры. Вес баллона измерительного с пробой криптона воспринимается полиэтиленовой втулкой (5). Холодпровод (6), погружённый в сосуд Дьюара с жидким азотом (на рисунке не показан), служит для охлаждения полупроводникового детектора до рабочей температуры. Используются детектор из сверхчистого германия марки Gem-30185 фирмы «EG&G Ortec» (США) и защитная камера из свинца с толщиной стенок 10 см той же фирмы.

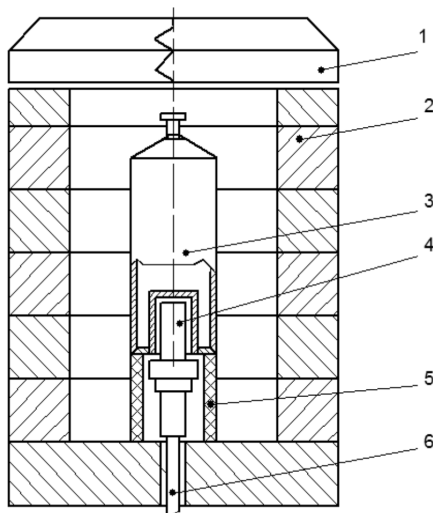


Рис. 2. Размещение баллона измерительного с пробой относительно детектора:  
1 – крышка защитной камеры; 2 – защитная камера; 3 – баллон с пробой криптона;  
4 – детектор полупроводниковый; 5 – втулка полиэтиленовая; 6 – холодпровод детектора

Пробы криптоксеноновой смеси доставляются в лабораторию в транспортных малолитражных баллонах, снабжённых мембранным вентилем марки KB-1М, ёмкость баллонов 0,7 или 1,3 л. Перед заполнением измерительный баллон вакуумируется и часть смеси переводится в измерительный баллон, создавая давление 5–7 кг/см<sup>2</sup>. Измерительный баллон с пробой выдерживается в течение суток, чтобы температура газа уравнилась с температурой помещения лаборатории, и с помощью образцового манометра марки MO160 кл. 0,4% измеряется равновесное давление криптоксеноновой смеси в измерительном баллоне. Результаты измерения регистрируются в рабочем журнале; регистрируется также температура в лаборатории, атмосферное давление и дата измерения. Далее измерительный баллон с пробой размещается в защитной камере, как показано на рис. 2, и выполняется измерение. На рис.3 приведён фрагмент аппаратного спектра, зарегистрированного при измерении пробы криптоксеноновой смеси. Проба выделена воздухоразделительной установкой Новолипецкого металлургического комбината в период 01.09–10.09.2014 г.; содержание криптона в смеси 0,9079. Время измерения 4880 с, давление смеси в измерительном баллоне 5,74 кг/см<sup>2</sup>. Скорость счёта импульсов в пике, соответствующем энергии 514 кэВ – 0,39 имп/с.

Объёмная активность <sup>85</sup>Kr в измеряемой пробе на дату измерения  $a_c$  (Бк/см<sup>3</sup>, при нормальной температуре и давлении (НТД)) рассчитывается по формуле

$$a_c = (n \cdot T \cdot P_0) / \left( \epsilon \cdot \eta \cdot T_0 \cdot P \cdot V \right), \quad (1)$$

где  $n$  – скорость счёта импульсов в пике, соответствующем энергии 514 кэВ, имп/с;  
 $T$  – температура помещения в момент измерения давления, °К;  
 $P_0$  – стандартное давление, 760 мм рт. ст.;  
 $\epsilon$  – эффективность регистрации гамма-квантов <sup>85</sup>Kr от смеси в баллоне, имп/квант;  
 $\eta$  – квантовый выход излучения <sup>85</sup>K с энергией 514 кэВ, 0,00434 квантов/распад;  
 $T_0$  – стандартная температура, 273 °К;  
 $V_0$  – объём измерительного баллона, 1064 см<sup>3</sup>;  
 $P$  – абсолютное давление смеси в измерительном баллоне, мм рт. ст.

Для расчёта содержания <sup>85</sup>Kr в воздухе используется соотношение (2) (с учётом, что в 1 м<sup>3</sup> воздуха при нормальных температуре и давлении (НТД) содержится 1,14 см<sup>3</sup> криптона):

$$a_B = 1,14 \cdot a_c \cdot e^{\lambda t} / D_{KR}, \quad (2)$$

где  $a_B$  – содержание <sup>85</sup>Kr в атмосферном воздухе при НТД, Бк/м<sup>3</sup>;

$a_c$  – содержание  $^{85}\text{K}$  в измеряемой криптоноксеноновой смеси при НТД, Бк/см<sup>3</sup>;  
 $\lambda$  – постоянная распада  $^{85}\text{K}$ , 0,00017672 дней<sup>-1</sup>;  
 $t$  – интервал между датой отбора пробы и датой измерения, дней;  
 $D_{KR}$  – содержание криптона в измеряемой пробе криптоноксеноновой смеси.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения содержания  $^{85}\text{K}$  в приземном слое воздуха над территорией России, полученные путём гамма-анализа проб криптоноксеноновых смесей, представлены в таблице. Пробы отбирались в период 2013–2015 гг. с использованием воздухо-разделительных установок, расположенных в Липецке, Магнитогорске, Нижнем Тагиле и Норильске. Видно, что разброс результатов, полученных по пробам из Норильска, существенно меньше разброса результатов, полученных по пробам из умеренных широт, и не превышает 5%. Это обусловлено тем,

что Норильск расположен за пределами широтного пояса размещения источников поступления  $^{85}\text{K}$  в атмосферу (предприятий по переработке ОЯТ). Многолетние ежемесячные измерения проб технического криптона, выполненные в ИЭМ (в настоящее время – ФГБУ «Научно-производственное объединение «Гайфун») с помощью сцинтилляционного бета-счётчика, показали, что отличие результатов отдельных измерений от среднегодовых значений достигало 15% [11].

Приведенные в данной работе результаты измерений содержания  $^{85}\text{K}$  в атмосферном воздухе на 10÷15% ниже результатов, полученных в Западной Европе [8, 9]. Это может быть обусловлено близостью европейских пунктов наблюдения к источникам поступления  $^{85}\text{K}$  в атмосферу. Другая возможная причина рассогласования данных – различие калибровок аппаратуры (использование разных образцовых радиоактивных смесей газов для калибровки по эффективности регистрации).

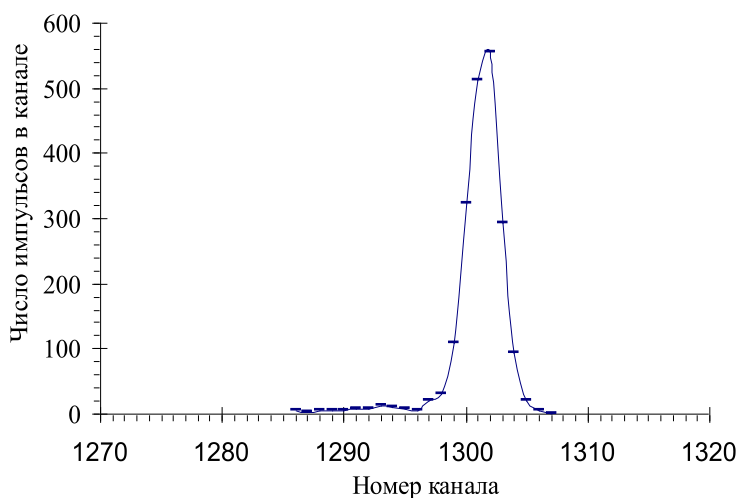


Рис. 3. Фрагмент аппаратного спектра, полученного при измерении пробы технического криптона из Липецка. Пик в 1302 канале соответствует энергии 514 кэВ

### Содержание $^{85}\text{K}$ в приземном слое воздуха над территорией России по результатам гамма-анализа проб криптоноксеноновой смеси

Дата отбора	Содержание криптона-85, Бк/м <sup>3</sup> сухого воздуха при 0°С и 760 мм рт.ст. *)			
	Липецк, 52°35' с.ш.	Магнитогорск, 53°22' с.ш.	Нижний Тагил, 57°55' с.ш.	Норильск, 69°21' с.ш.
Июнь 2013	–	–	1,28	–
Сентябрь 2014	1,37	1,45	–	1,27
Декабрь 2014	–	–	–	1,3
Январь 2015	1,25	–	–	–
Февраль 2015	–	–	–	1,31
Май 2015	–	–	–	1,34
Июль 2015	–	1,29	–	1,35



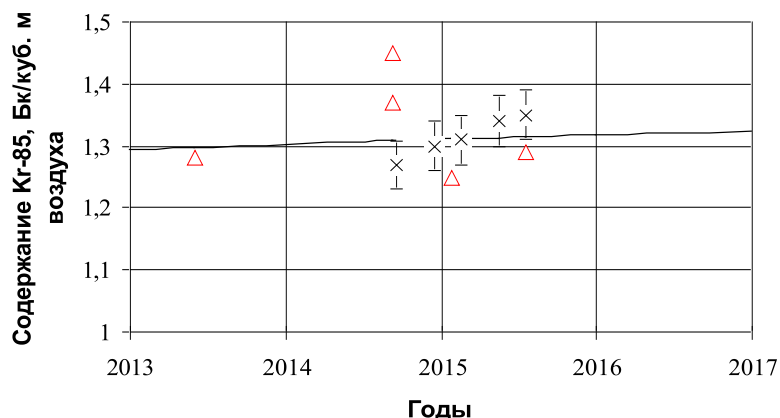


Рис. 4. Результаты определения содержания <sup>85</sup>Kr в приземном слое атмосферы над территорией России методом гамма-спектрометрии проб технического криптона: Δ – пробы, отобранные в умеренных широтах; × – пробы, отобранные в Норильске (за полярным кругом)

В последние десятилетия отмечается отсутствие роста содержания радиокриптона в атмосфере. Это свидетельствует, что поступление <sup>85</sup>Kr компенсирует уменьшение его активности за счёт радиоактивного распада [12]:

$$N_{\text{РАВН}} = a_0 / (\lambda \cdot t), \quad (3)$$

где  $N_{\text{РАВН}}$  – запас <sup>85</sup>Kr в атмосфере при выходе содержания на плато, Бк;  
 $a_0$  – ежегодное поступление (равновесная инжекция) <sup>85</sup>Kr в атмосферу, Бк/год;  
 $\lambda$  – постоянная распада <sup>85</sup>Kr, 0,06455 год<sup>-1</sup>.

Выражение (3) описывает также изменение активности <sup>85</sup>Kr в атмосфере. Считается, что удельной объёмной активности <sup>85</sup>Kr 1 Бк/м<sup>3</sup> воздуха, зафиксированной в умеренных широтах северного полушария, соответствует глобальный запас 3,2·10<sup>18</sup> Бк (86 МКи) [1]. Следовательно, при равновесной концентрации <sup>85</sup>Kr 1,3 Бк/м<sup>3</sup> воздуха (рис. 4) его глобальный запас оценивается как 4,16·10<sup>18</sup> Бк, а равновесная инжекция этого радионуклида в атмосферу составляет примерно 0,3·10<sup>18</sup> Бк/год.

### Заключение

Мониторинг активности <sup>85</sup>Kr в приземном слое атмосферы по пробам криптоносной смеси, которые отбираются от воздуходелительных предприятий, размещённых в высоких широтах, и измеряются методом гамма-спектрометрии, позволяет контролировать глобальный базовый уровень загрязнения атмосферы <sup>85</sup>Kr с высокой точностью при малых затратах.

Обнаружение реального превышения объёмной активности <sup>85</sup>Kr на контролируемых территориях над базовым уровнем

поможет обнаружить недекларированную переработку облучённого ядерного топлива с целью извлечения из него оружейного плутония.

В середине 2015 г. содержание <sup>85</sup>Kr в атмосфере северного полушария составляло 1,3 Бк/м<sup>3</sup> воздуха (при давлении 760 мм рт.ст. и температуре 0 °С), а глобальный запас этого радионуклида – 4,16·10<sup>18</sup> Бк при его равновесной инжекции в атмосферу примерно 0,3·10<sup>18</sup> Бк/год.

В настоящее время регулярный мониторинг содержания <sup>85</sup>Kr в атмосфере над территорией России не ведётся. На наш взгляд, целесообразно возобновить регулярные наблюдения за содержанием радиокриптона над территорией РФ.

Авторы благодарят Д.Э. Гусева и М.Ю. Савинова за помощь при получении проб технического криптона.

### Список литературы

1. Криптон-85 в атмосфере. Накопление, биологическое значение и способы контроля: Пер. с англ. Под ред. Ю.В. Сивинцева. М.: Атомиздат, 1978. 64 с.
2. Хвостова М.С. Экологические проблемы эксплуатации плавучей атомной тепловых электростанции в Арктическом регионе // Российская Арктика. 2018. № 1. С. 10–27.
3. Gilbert J. Ferber, Jerome L. Heffter, Alfred W. Klement Jr. Meteorological Dispersion of Released Radioactivity. CRC Press: Handbook of Environmental Radiation, 1982. 487 p. [Electronic resource]. URL: [https://books.google.ru/books?id=JTWoDwAAQBAJ&pg=PT62&lpg=PT62&dq=Ferber+G.J.&source=bl&ots=21ZhMB3XO\\_&sig=ACfU3U3taJLvbYJ4UJ6giJV6gWX-7tEvlA&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKewiH39f8xaLkAhVQlIsKHfWwAnMQ6AEwA3oECAoQAQ#v=onepage&q=Ferber%20G.J.&f=false](https://books.google.ru/books?id=JTWoDwAAQBAJ&pg=PT62&lpg=PT62&dq=Ferber+G.J.&source=bl&ots=21ZhMB3XO_&sig=ACfU3U3taJLvbYJ4UJ6giJV6gWX-7tEvlA&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKewiH39f8xaLkAhVQlIsKHfWwAnMQ6AEwA3oECAoQAQ#v=onepage&q=Ferber%20G.J.&f=false) (date of access: 27.08.2019).
4. Гудков А.Н., Иванов В.И., Кароль И.Л., Колобашкин В.М., Лейпунский О.И., Некрасов В.И., Новичков В.П., Сербулов Ю.А., Ушакова Н.П. Широтное распределение криптона-85 в приземном слое атмосферы (по результатам экспедиции на НИС «Академик Курчатов») // Загрязнение ат-

мосферы продуктами деления: материалы к семинару. Вильнюс: Институт физики и математики АН Литовской ССР, 1976. С. 3–15. [Электронный ресурс]. URL: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/10/420/10420782.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/10/420/10420782.pdf) (дата обращения: 27.08.2019).

5. Connan O., Smith K., Organo C., Solier L., Maro D., Herbert D. Comparison of RIMPUFF, HYSPLIT, ADMS atmospheric dispersion model outputs, using emergency response procedures, with Kr-85 measurements made in the vicinity of nuclear reprocessing plant. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013. vol. 124. P. 266–277.

6. Переволоцкая Т.В., Переволоцкий А.Н. Оценка объемной активности и мощности поглощенной дозы внешнего гамма-излучения от штатных выбросов радионуклидов инертных газов Белорусской атомной электростанции // *Радиация и риск*. 2014. № 3 (23). С. 89–99.

7. Momoshima N., Inoue F., Sugihara S. et al. An improved method for  $^{85}\text{Kr}$  analysis by liquid scintillation counting and its application to atmospheric  $^{85}\text{Kr}$  determination. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2010. vol. 101. P. 615–621.

8. Schlosser C., Konrad M., Schmid S.  $^{85}\text{Kr}$  Activity Determination in Tropospheric Air. Project of International

Foundation HFSJG. Activity Report 2018. P. 45–46. [Electronic resource]. URL: [https://www.hfsjg.ch/wordpress/reports/2018/118\\_BfS\\_Schlosser\\_cf-ml.pdf](https://www.hfsjg.ch/wordpress/reports/2018/118_BfS_Schlosser_cf-ml.pdf) (date of access: 27.08.2019).

9. Schlosser C., Klingberg F. Krypton-85 Monitoring at BfS in Germany and Possible Applications for Safeguards. International Safeguards Symposium IAEA CN-220, Vienna, Austria 20-24 Oct. 2014. [Electronic resource]. URL: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:46066220](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:46066220) (date of access: 27.08.2019).

10. Цветкова Т.В., Железняк Г.С., Пронько В.В., Суровенный В.Г., Суятин Б.Д., Невинский И.О. Измерение  $^{85}\text{Kr}$  для контроля окружающей среды как средство обеспечения ядерной безопасности // *Математические методы и информационно-технические средства: материалы X Всероссийской научно-практической конференции*. Краснодар: Краснодарский университет МВД, 2014. С. 343–346.

11. Тертышник Э.Г., Корсаков А.Т. Темпы накопления  $^{85}\text{Kr}$  в атмосфере // *Атомная энергия*. 1990. № 4. Т. 68. С. 267–271.

12. Корсаков А.Т., Тертышник Э.Г. Криптон-85 в атмосфере // *АНРИ*. 2013. № 4. Т. 75. С. 19–27.

УДК 005.6

## МЕТОДИКА РАССМОТРЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВОМ ЗАКАЗЧИКА В ЭЛЕКТРОННОМ ВИДЕ

**Киров А.В.**

*ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,  
Москва, e-mail: glarbb@mail.ru*

Современные высокотехнологичные предприятия находятся в условиях жесткой конкуренции, которая требует оптимизации затрат на разработку и производство новой продукции при обеспечении высокого ее качества. Уже сейчас на многих предприятиях промышленности задачи ускорения разработки изделий, повышения операционной эффективности, а также выполнения комплекса регулятивных норм сделали необходимой операционной эффективностью внедрение современных средств информатизации и автоматизации ключевых процессов по разработке и созданию продукции. На этапе проектирования и производства с помощью этих технологий формируется единое электронное информационное пространство заказчика, головного предприятия, подрядчика, поставщика и осуществляется переход к полному электронному моделированию промышленного изделия. Однако деятельность представительств заказчика недостаточно интегрирована в процессы информатизации и автоматизации выпуска продукции, полностью основывается на традиционном бумажном документообороте. Возможности современных информационно-коммуникационных технологий для организации взаимодействия всех участников жизненного цикла изделия практически не используются. Все перечисленное затрудняет информационный обмен между участниками жизненного цикла, снижает эффективность выполнения работ на стадиях жизненного цикла. В настоящее время идет разработка системы управления полным жизненным циклом изделия, включающая в себя участников жизненного цикла и информационно-коммуникационные технологии, обеспечивающие управление информацией об изделии. В связи с вышесказанным в данной работе разработана методика по рассмотрению электронной конструкторской документации представителем заказчика в рамках системы управления жизненным циклом изделия, которая позволит повысить качество и оперативность разрабатываемой продукции.

**Ключевые слова:** система управления, жизненный цикл, представительство заказчика, электронная документация, информационное обеспечение

## METHOD OF CONSIDERATION OF DESIGN DOCUMENTATION BY REPRESENTATIVE OFFICE OF THE CUSTOMER IN ELECTRONIC VIEW

**Kirov A.V.**

*MIREA – Russian Technological University, Moscow, e-mail: glarbb@mail.ru*

Modern high-tech enterprises are in conditions of tough competition, which requires optimizing the costs of developing and producing new products while ensuring their high quality. Already, at many industrial enterprises, the task of speeding up product development, increasing operational efficiency, and also implementing a set of regulatory standards have made it imperative to introduce modern means of informatization and automate key processes for developing and creating products. At the design and production stage, with the help of these technologies, a single electronic information space of the customer, parent company, contractor, supplier is formed and the transition to full electronic modeling of an industrial product is carried out. However, the activities of the customer's representative offices are not sufficiently integrated into the processes of informatization and automation of production, fully based on traditional paper workflow. The possibilities of modern information and communication technologies for organizing the interaction of all participants in the product life cycle are practically not used. All of the above makes it difficult to exchange information between the participants of the life cycle, reduces the efficiency of work at the stages of the life cycle. Currently, the development of a product lifecycle management system is under way, which includes life cycle participants and information and communication technologies that manage information about a product. In this regard, in this paper, a methodology has been developed for reviewing electronic design documentation by the customer's representative office within the framework of the full product lifecycle management system, which will improve the qualities and efficiency of the products being developed.

**Keywords:** control system, lifecycle, representation of the customer, electronic documentation concept, information support

В современных условиях особую значимость приобретает повышение эффективности управления представителем заказчика (ПЗ) разработкой, производством, эксплуатацией и утилизацией изделий. Одним из таких направлений, способным эффективно обеспечить решение перечисленных задач, является управление жизненным циклом изделия (ЖЦИ), с использованием информационных технологий [1].

Анализ действующих нормативных документов позволяет установить недостатки информационного обеспечения существующей системы управления жизненным циклом:

- не предусмотрено использование современных технологий управления ЖЦИ;
- в нормативных документах отсутствуют требования по предоставлению конструкторской документации на изделия в электронном виде;

– не регламентированы требования по порядку изменения, согласования, утверждения, передачи электронной конструкторской документации;

– не регламентированы процессы ведения, передачи, хранения базы данных по ЖЦИ, форматы представления данных;

– не предусмотрен механизм оценки реализуемости требований, предъявляемых к перспективным изделиям;

– отсутствует механизм применения электронной подписи представителями заказчика;

– не предусмотрен порядок рассмотрения и согласования документации представителем заказчика в электронном виде [2, 3].

Но при этом необходимо отметить, что предприятиями промышленности уже давно используются разнообразные системы автоматизированного проектирования (САПР). Результатом их работы является совокупность электронных геометрических, структурных и иных моделей и документов, создаваемых и хранимых под управлением автоматизированных систем управления данными об изделии (АС УДИ). В базе данных АС УДИ электронные конструкторские данные представляются в виде совокупности информационных объектов (ИО), объединенных в информационные наборы (ИН), в которых каждый отдельный ИО представляет собой минимальную информационную единицу [4–6].

При необходимости, электронные модели могут быть преобразованы в форму электронных конструкторских документов (ЭКД), однако такое преобразование не является обязательным. Потребность в таком преобразовании возникает при необходимости извлечь результаты конструкторских работ из АС УДИ с тем, чтобы хранить и использовать их без использования АС УДИ, или передать другим организациям и участникам ЖЦ. В ходе проведения опытно-конструкторских работ (ОКР) данные об изделии могут находиться под управлением АС УДИ, где изменяются, уточняются и детализируются по единым правилам в единой информационной среде.

На стадии изготовления опытного образца и последующего серийного производства предприятию-изготовителю предоставляется доступ к данным в АС УДИ, при этом и разработчик и изготовитель работают с единым набором данных, что уменьшает вероятность ошибок и ускоряет внесение изменений. Если прямой доступ к АС УДИ невозможен, то у предприятия-разработчика создается копия (реплика) базы данных АС УДИ разработчика. Требования к едино-

му набору данных (порядок доступа к АС УДИ, версия ПО, состав, тип, формат РКД и прочее) уточняются Головным разработчиком и согласовываются с изготовителем заблаговременно (до передачи).

Целью проведенного исследования является разработка способов и методов, позволяющих представительству заказчика осуществлять рассмотрение, согласование и утверждение конструкторской документации в реальном режиме времени с использованием современных информационных возможностей.

### Материалы и методы исследования

В разработанной методике предлагается рассмотреть следующие способы рассмотрения рабочей конструкторской документации в электронном виде, их проверки, согласования и утверждения представителем заказчика:

1. Проверка и согласование РКД непосредственно в среде АС УДИ, в форме электронного макета изделия и связанных с ним баз данных.

2. Проверка и согласование РКД в среде АС УДИ, и ее утверждение в виде сформированного на основе данных АС УДИ комплекта электронных конструкторских документов, подписанных электронной подписью или снабженных УЛ по ГОСТ 2.051-2013.

3. Проверка, согласование и утверждение РКД в форме комплекта электронных конструкторских документов подписанных электронной подписью или снабженных УЛ по ГОСТ 2.051-2013.

При использовании способа № 1 все этапы согласования и утверждения осуществляются в рамках автоматизированной процедуры выпуска. В этом случае все результаты хранятся в АС УДИ, визирование осуществляется всеми участниками в электронной форме.

При использовании способа № 2 разработка и размещение РКД, ее проверка и согласование осуществляются аналогично варианту 1, однако затем на основе данных, хранимых в АС УДИ, формируется набор электронных конструкторских документов, который утверждается с использованием электронной подписи или УЛ.

Способ № 3 не предполагает использования АС УДИ. Все этапы проверки, согласования и утверждения выполняются с электронными конструкторскими документами с ЭЦП или удостоверяющими листами в соответствии с ГОСТ 2.051-2013.

В качестве основного варианта организации работ автором предлагается применять способ № 1.



Способ № 2 можно использовать только при наличии необходимости передачи РКД сторонам, не имеющим возможность использования единой с разработчиком АС УДИ. В этом случае утвержденные РКД преобразовываются в набор конструкторских документов, комплектность которых соответствует ГОСТ 2.102 и требованиям ТЗ (ТТЗ) на ОКР.

Способ № 3 допускается использовать на предприятиях-соисполнителях (исполнителям СЧ ОКР), предоставляющих свои результаты ГИ ОКР.

Организация инфраструктуры управления электронными подписями и оснащение ПЗ необходимыми программными средствами должно осуществляться за счет средств ОКР.

Предложим следующий порядок работы ПЗ по рассмотрению конструкторской документации в электронном виде:

1. Проверка представительством заказчика результатов ЭП и ТП, представленных в среде АС УДИ.

Запуск автоматизированной процедуры является уведомлением ПЗ о готовности результатов ЭП и ТП к проверке и приемке. Одновременно с этим ГИ ОКР (ГИ СЧ ОКР) уведомляет ПЗ о готовности РКД к проверке и приемке бумажным уведомлением.

РКД проверяются ПЗ согласно комплектности, согласованной с заказчиком.

В случае отсутствия замечаний, ПЗ должно визировать РКД в АС УДИ с использованием простой электронной подписи (ПЭП). Допускается совместная проверка РКД несколькими представителями ПЗ (по специализации). В этом случае соответствующий информационный набор в АС УДИ будет иметь несколько электронных виз специалистов ПЗ.

2. Проверка представительством заказчика результатов ЭП и ТП, представленных в форме ЭКД.

Проверка результатов ЭП и ТП, представленных в форме ЭКД, выполняется ПЗ путем проверки содержательной и реквизитной части ЭКД согласно комплектности, согласованной с заказчиком. В случае отсутствия замечаний ПЗ визирует ЭКД собственноручной подписью (при представлении ЭКД с бумажным УЛ), либо квалифицированной электронной подписью (КЭП).

3. Согласование представительством заказчика результатов ЭП и ТП, представленных в среде АС УДИ.

ПЗ подготавливает заключение по этапу. Заключение ПЗ составляется в двух формах:

а) в форме электронного документа установленного формата, который разме-

щается в АС УДИ и визируется с использованием ПЭП;

б) в форме бумажного документа с собственноручной подписью.

В случае наличия замечаний, головной исполнитель ОКР (ГИ) корректирует материалы ЭП (ТП) и повторно предъявляет их ПЗ. ПЗ проверяет полноту внесенных изменений и подписывает РКД в АС УДИ с использованием ПЭП.

На этапе ТП ПЗ и Заказчик дополнительно подписывает (согласовывает) с использованием ПЭП комплектность результатов, предъявляемых на этапе РКД, и комплектность и проспекты эксплуатационной документации (ЭД).

Для предъявления результатов ЭП (ТП), представляемых на согласование Заказчику в АС УДИ, ГИ ОКР формирует ведомость РКД.

Сформированная ведомость и титульный лист вместе с заключением передаются заказчику для рассмотрения и утверждения результатов ЭП (ТП).

4. Согласование представительством заказчика результатов ЭП и ТП, разработанных с использованием САПР, вне АС УДИ.

ГИ ОКР формирует ведомость РКД с титульным листом.

ПЗ подготавливает заключение по этапу проекта в форме бумажного документа с собственноручной подписью.

В случае наличия замечаний, ГИ ОКР корректирует материалы ЭП (ТП) и повторно предъявляет их ПЗ. ПЗ проверяет полноту внесенных изменений и подписывает титульный лист. Подписание титульного листа ПЗ в соответствующей графе «Согласовано» означает согласование РКД в целом.

На основании заключения уполномоченное лицо ПЗ визирует РКД в АС УДИ с использованием ПЭП.

На этапе ТП согласовываются комплектность РКД, а также комплектность и проспекты ЭД.

Ведомость и заключение передается заказчику для рассмотрения и утверждения результатов ЭП (ТП).

5. Согласование представительством заказчика результатов ЭП и ТП, представленных в форме КДЭ.

ГИ ОКР формирует ведомость РКД в соответствии с согласованной с заказчиком комплектностью документации ЭП (ТП) с титульным листом. К ведомости прилагается комплект удостоверяющих листов (для ЭКД с УЛ).

ПЗ подготавливает заключение по этапу проекта в форме бумажного документа с собственноручной подписью.

В случае наличия замечаний ГИ ОКР корректирует ЭКД и повторно предъявляет их ПЗ. ПЗ проверяет полноту внесенных изменений и подписывает титульный лист собственноручной подписью. Подписание титульного листа ПЗ в соответствующей графе «Согласовано» означает согласование РКД в целом. Одновременно ПЗ визирует ЭКД с использованием КЭП (для ЭКД с электронной реквизитной частью) или собственноручной подписью (для ЭКД с УЛ).

6. Проверка представителем заказчика РКД в среде АС УДИ.

Запуск автоматизированной процедуры является уведомлением ПЗ о готовности результатов работы к проверке и приемке. Одновременно с этим ГИ ОКР уведомляет ПЗ о готовности РКД к проверке и приемке бумажным уведомлением.

В случае отсутствия замечаний ПЗ визирует РКД в АС УДИ с использованием ПЭП. Допускается совместная проверка РКД несколькими представителями ПЗ (по специализации). В этом случае соответствующий информационный набор в АС УДИ будет иметь несколько электронных виз представителей ПЗ.

На этапе РКД опытного образца ПЗ проверяет РКД, предназначенные для изготовления опытного образца, комплектно, после их утверждения ГК ГИ ОКР. Повторной проверке РКД подвергаются после их корректировки по результатам изготовления опытного образца (ОО), предварительных испытаний и межведомственных испытаний (МВИ). В АС УДИ корректировка приводит к появлению новых версий РКД, которые повторно согласуются по установленной процедуре.

7. Проверка представителем заказчика РКД, представленных в форме ЭКД.

Проверка РКД в форме ЭКД выполняется ПЗ путем проверки содержательной и реквизитной части ЭКД согласно перечню (комплектности) РКД. Ранее проверенные и уже согласованные ЭКД повторно не проверяются. В случае отсутствия замечаний ПЗ подписывает ЭКД собственноручной подписью в УЛ или визирует ЭКД с использованием КЭП.

8. Согласование представителем заказчика РКД, представленных в среде АС УДИ.

ПЗ выдает акт о завершении корректировки РКД этапа РКД и заключение об их готовности к соответствующему этапу (изготовлению и испытанию ОО, проведению МВИ).

В случае положительного заключения ПЗ визирует РКД представленные в АС УДИ с использованием ПЭП. На основании

данных в АС УДИ и согласованной на этапе ТП комплектности РКД формируется ведомость РКД.

Ведомость с титульным листом, подписанным собственноручной подписью ПЗ, вместе с заключением и актом передается заказчику для рассмотрения и утверждения РКР.

9. Согласование представителем заказчика РКД, разработанных с использованием САПР, вне АС УДИ.

РКД, разработанные с использованием САПР и АС УДИ, допускается согласовывать с ПЗ вне АС УДИ. Для этого (после проверки и согласования со всеми полномочными представителями, ответственными за разработку РКД) ГИ ОКР формирует ведомость РКД в соответствии с согласованной с заказчиком комплектностью результатов и титульный лист для собственноручной подписи ПЗ.

В случае наличия замечаний, ГИ ОКР корректирует РКД и повторно предъявляет их ПЗ. ПЗ проверяет полноту внесенных изменений и подписывает собственноручной подписью титульный лист. Подписание титульного листа означает согласование РКД в целом.

ПЗ выдает акт о завершении корректировки РКД и заключение об их готовности к соответствующему этапу в форме бумажных документов с собственноручной подписью.

10. Согласование представителем заказчика РКД, представленных в форме ЭКД, ГИ ОКР формирует ведомость РКД с титульным листом в соответствии с согласованной с заказчиком комплектностью. К ведомости прикладывается комплект удостоверяющих листов (для ЭКД с УЛ).

В случае наличия замечаний ГИ ОКР корректирует РКД и повторно предъявляет их ПЗ. ПЗ проверяет полноту внесенных изменений и подписывает собственноручной подписью титульный лист. Подписание титульного листа означает согласование РКД в целом. Одновременно ПЗ визирует ЭКД с использованием КЭП (для ЭКД с электронной реквизитной частью) или подписывает собственноручной подписью (для ЭКД с УЛ).

ПЗ выдает акт о завершении корректировки РКД и заключение об их готовности к соответствующему этапу (изготовлению и испытанию ОО, проведению МВИ).

Электронное визирование ПЗ реализуется заполнением реквизитов информационного объекта «Электронная виза», реквизита «Принятое решение», значением «Проверил» и «Представительство заказчика». При использовании КЭП реквизит

«Значение электронной подписи» заполняется вычисленными результатами криптографических преобразований.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результатом проведенного исследования является разработка методики рассмотрения, согласования и утверждения представителем заказчика конструкторской документации в электронном виде на стадиях проектирования и разработки изделий, предлагающая различные вариационные способы работы с документами, представленными в электронном виде. Данная методика обсуждалась в ходе научно-технической конференции.

### Заключение

Предложенная в статье методика позволяет повысить взаимосвязь и информационный обмен между участниками жизненного цикла, в частности между разработчиками и представителем заказчика. В свою

очередь, это сокращает время и ресурсы на прохождение обязательных процедур, повышает контроль и качество разработки.

### Список литературы

1. Киров А.В. Основные аспекты определения облика системы управления полным жизненным циклом изделия // Фундаментальные исследования. 2016. № 9–1. С. 31–34.
2. Концепция разработки, внедрения и развития системы управления полным жизненным циклом ВВСТ. М., 2013. 42 с.
3. Буренок В.М. Проблемы создания системы управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. 2014. № 2. С. 4–9.
4. Суханов А.А., Рязанцев О.Н., Артизов С.А., Бриндинов А.Н., Незаленов Н.И., Карташев А.В., Елизаров П.М., Судов Е.В. Концепция развития ИПИ – технологий для продукции военного назначения, поставляемой на экспорт. М.: НИЦ СALS «Прикладная логистика», 2013. 41 с.
5. Лютов А.Г., Загидуллин Р.Р., Схиртладзе А.Г., Огородов В.А., Рябов Ю.В., Чугунова О.И. Управление качеством в автоматизированном производстве. Старый Оскол: ТНТ, 2012. 424 с.
6. Киров А.В. Вопросы нормативного обеспечения системы управления жизненным циклом изделия // Материалы Первой научно-технической конференции Московского технологического университета, М.: МИРЭА, 2016. С. 42–45.

**ВОДА КАК АККУМУЛЯТОР СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ****Кузьмин Г.П., Куваев В.А.***Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, e-mail: kuzmin mpi.ysn.ru*

Отмечается возможность использования солнечной тепловой энергии на основе фазовых переходов воды для отопления некоторых видов помещений в холодное время года. Использование воды в качестве аккумулятора солнечного тепла является одним из безопасных для окружающей среды альтернативных возобновляемых источников получения энергии. Этот способ использования солнечного тепла пригоден на большей части территории России. Применение технологии ограничено лишь в некоторых районах Крайнего Севера из-за малой эффективности вследствие низких температур наружного воздуха и малой продолжительности летнего периода. Технология испытана в зимнее время на физической модели и опытном помещении в климатических условиях г. Якутска, характеризующихся низкими температурами и большой продолжительностью зимнего периода. Приводится описание устройства опытного помещения и водяного аккумулятора солнечного тепла. Опытное помещение представляет стояночный гараж. Водяной аккумулятор состоит из металлических резервуаров с водой, при замерзании которой в зимнее время выделяется тепло, а при плавлении льда в летнее время происходит аккумулирование солнечного тепла. Приводятся зависимости для определения расчетных параметров и потерь тепла через ограждающие конструкции и полы помещения, через открывающиеся ворота для въезда и выезда автомобиля, на нагрев охлажденного автомобиля. Излагаются результаты испытания в зимнее время опытного гаража, оборудованного водяным аккумулятором солнечного тепла.

**Ключевые слова:** вода, теплота фазовых переходов, солнечное тепло, аккумулирование, теплопередача, потери тепла

**WATER AS A SOLAR ENERGY BATTERY****Kuzmin G.P., Kuvayev V.A.***Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: kuzmin@mpi.ysn.ru*

The possibility of using solar thermal energy based on phase transitions of water for heating certain types of premises in the cold season is noted. Using water as an accumulator of solar heat is one of the environmentally friendly alternative renewable sources of energy. This method of using solar heat is suitable in most of the territory of Russia. The use of technology is limited only in the Far North due to low efficiency due to low outside temperatures and the short duration of the summer period. The technology was tested in winter on a physical model and experimental room in the climatic conditions of Yakutsk, characterized by low temperatures and a long winter period. The description of the device of the experimental room and the solar water heat accumulator is given. The experimental building is a parking garage. A water battery consists of metal tanks with water, which freezes during the winter when it freezes, and when the ice melts in the summer, solar heat accumulates. Dependencies are given for determining the design parameters and heat loss through the building envelopes and floors of the room, through the opening gates for leaving and entering the car, for heating a cooled car. The winter test results of an experimental garage equipped with a solar water heat accumulator are presented.

**Keywords:** water, heat of phase transitions, solar heat, storage, heat transfer, heat loss

В настоящее время опубликовано большое количество работ, посвященных различным вопросам аккумулирования и использования тепловой энергии. В работе [1] изложены основные принципы аккумулирования тепла и использования теплоаккумулирующих материалов. Существуют различные вещества, при кристаллизации которых при определенной постоянной температуре выделяется значительное количество так называемой скрытой теплоты фазовых переходов [2]. Эти вещества могут применяться для аккумулирования солнечного тепла. Большое количество тепла выделяется при кристаллизации воды, которая как аккумулятор тепловой солнечной энергии может найти применение для отопления закрытых помещений до высоких отрицательных температур, близких к  $0^{\circ}\text{C}$  [3]. При аккумулировании скрытой теплоты для систем отопления подбирают вещества,

плавление и кристаллизация которых происходит при температурах  $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$ . К таким веществам относятся хлорид кальция ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и сульфат натрия (глауберова соль). Количество теплоты фазового перехода хлорида кальция приближается к количеству теплоты фазового перехода воды. При использовании указанных веществ для аккумулирования скрытой теплоты фазовых переходов требуется принимать меры безопасности. Кроме того, для некоторых видов сооружений высокие отрицательные температуры являются оптимальными или допускаются в качестве рабочих. К таким сооружениям можно отнести ледовые катки, стояночные гаражи, ангары, прогулочные и спортивные помещения при детских учреждениях, круглогодичные хранилища некоторых видов овощей, сезонные хранилища овощей, хранилища ряда веществ и материалов и т.д. Применение в таких со-



оружениях водяных аккумуляторов солнечной энергии (ВАСЭ) является эффективным и безопасным способом использования возобновляемой энергии Солнца. Непрерывная циклическая работа ВАСЭ возможна в таких климатических условиях, при которых в летнее время обеспечивается полное таяние образовавшегося в аккумуляторах льда. На территории России применение водяных аккумуляторов солнечного тепла ограничено только в некоторых районах на Крайнем Севере из-за низких значений положительных градусо-часов наружного воздуха, снижающих эффективность такого способа получения возобновляемой энергии.

Технология использования теплоты фазовых переходов воды для обогрева помещений испытана на физической модели и на опытном гараже в холодное время года в суровых климатических условиях Центральной Якутии в г. Якутске.

Цель исследований заключалась в оценке возможности практической реализации технологии использования солнечного тепла на основе фазовых переходов (ТФП) воды для управления температурным режимом закрытых помещений и получения данных для разработки методики теплотехнического расчета. При испытании водяных аккумуляторов солнечной энергии в качестве обогревательного устройства закрытых помещений необходимо последовательно решать задачи, связанные с разрядкой и зарядкой их. В статье дана характеристика климатических условий места проведения эксперимента, изложено описание устройства опытного помещения и водяного аккумулятора солнечной энергии, приведены зависимости для определения расчетных параметров и потерь тепла, представлены основные результаты испытания опытного помещения в режиме разрядки водяного аккумулятора в холодное время года.

Результаты первого этапа испытания водяного аккумулятора солнечной энергии в качестве обогревательного устройства показали реальную возможность применения предложенного экономически эффективного и безопасного для окружающей среды способа использования возобновляемой солнечной энергии.

*Устройство и теплообмен опытного помещения с окружающей средой*

Необходимое количество аккумулируемого тепла в ВАСЭ определяется потерями тепла из помещения в зимнее время, величины которых обусловлены климатическими условиями, размерами помещения, термическим сопротивлением ограждающих

конструкций и технологическими особенностями помещения.

Климатические условия г. Якутска за последние 5 лет характеризуются следующим [4]. Среднее значение температуры воздуха в зимнее время равно минус 22,0 °С, в летнее время 13,4 °С. Средняя продолжительность периодов с отрицательной и положительной температурами воздуха равны соответственно 4964 и 3796 ч. Средняя скорость ветра, от величины которой зависит теплообмен наружной поверхности ограждающих конструкций помещения с окружающим воздухом, равна в зимнее время 1,9, в летнее время 3,0 м/с. Низкие зимние температуры воздуха в течение длительного времени приводят к большим потерям тепла из помещения. В летнее время суммарный приток тепла в помещение ограничен вследствие невысоких температур воздуха и относительно небольшой продолжительности теплого периода. Однако в летнее время более высокая скорость ветра, чем зимой, способствует теплоотдаче воздуха к поверхности ограждающих конструкций помещения.

Опытное помещение представляет собой стояночный гараж шириной 9,0, длиной 12,0 и высотой 3,5 м и толщиной стены около 0,31 м. Общая площадь ограждающих конструкций помещения, соприкасающихся с наружным воздухом, составляет 255 м<sup>2</sup>. Площадь пола равна 93,8 м<sup>2</sup>. Гараж построен из металлического каркаса. Перекрытие и стены утеплены полистиролом толщиной 30 см и коэффициентом теплопроводности 0,452 Вт/м<sup>2</sup>К, пенофолом толщиной 8 мм и коэффициентом теплопроводности 0,383 Вт/м<sup>2</sup>К. Стены и кровля покрыты профилированным металлическим листом. Пол покрыт полистиролом толщиной 10 см и залит бетоном толщиной 20 см. Грунты основания представлены до глубины 0,3 м суглинками, ниже до исследованной глубины 10 м – мелкозернистыми песками. Среднегодовая температура грунтов равна минус 2,0 °С. Ворота шириной 3,0 и высотой 2,8 м изготовлены так же, как и стены. Внутри помещения установлены водяные аккумуляторы солнечной энергии, представляющие собой металлические резервуары с водой, изготовленные из листовой стали толщиной 3,0 мм. Для уменьшения давления льда на стенки резервуаров, возникающего вследствие увеличения объема воды при ее замерзании, они выполнены наклонными. Высота резервуаров равна 1,8 м, ширина их принята равной по низу 1,5 м, по верху 1,6 м. Суммарная длина восьми резервуаров равна 22,0 м. Резервуары заполнены водой объемом 44,3 м<sup>3</sup> до высоты 1,3 м.

Общее количество потерь тепла из опытного объекта в холодное время года можно представить в виде суммы

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (1)$$

где  $Q_1, Q_2, Q_3$  и  $Q_4$  – потери тепла соответственно через ограждающие конструкции помещения в атмосферу; через пол помещения в грунты основания; через ворота при выезде и въезде автомобиля; на нагрев охлажденного автомобиля.

Расчеты потерь тепла из зданий в окружающую среду изложены в различных нормативных документах и статьях. Наиболее подробно они представлены в работе [5].

Потери тепла через ограждающие конструкции определяются по известной формуле теплопередачи через плоскую стенку

$$Q_1 = k_1 S_1 (t_2 - t_1) (\tau - \tau_0), \quad (2)$$

где  $k_1$  – коэффициент теплопередачи через многослойную плоскую стенку;  $S_1$  – площадь наружной поверхности ограждающих конструкций помещения;  $t_1$  – средняя за зиму температура внутри помещения;  $t_2$  – средняя за зиму температура наружного воздуха;  $\tau$  – продолжительность периода отрицательных температур наружного воздуха;  $\tau_0$  – суммарное за зиму время открытого состояния ворот помещения.

Коэффициент теплопередачи через ограждающую конструкцию помещения

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3)$$

где  $\alpha_1 = 5,6 + 3,9v_1^2$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции;  $v_1$  – средняя скорость движения воздуха вдоль внутренней поверхности ограждающей конструкции;  $\alpha_2 = 5,6 + 3,9v_2^2$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции;  $v_2$  – средняя за зиму скорость ветра;  $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя ограждающей конструкции;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя ограждающей конструкции.

Потери тепла через пол помещения приближенно можно оценить по формуле

$$Q_2 = S_2 (t_1 - t_{rp}) (\tau - \tau_0) / R, \quad (4)$$

где  $S_2$  – площадь пола;  $R$  – среднее значение термического сопротивления пола.

$$Q_4 = [C_1 (G - g_d - g_c) (t_2 - t_1) + C_1 g_d (t_d - t_1) + C_2 g_c (t_c - t_1)] n_a, \quad (9)$$

где  $G, g_d$  и  $g_c$  – масса соответственно всего автомобиля, двигателя и салона;  $C_1$  и  $C_2$  – средняя удельная теплоемкость корпуса автомобиля и средняя удельная теплоемкость материалов салона;  $t_d$  и  $t_c$  – средняя за зиму температура нагретого двигателя и салона;  $n_a$  – число открываний ворот за зиму.

Для определения  $R$  площадь пола при отсутствии заглубления здания в грунт разбивается на 3 зоны [4]. Зона 1 представляет полосу шириной  $b_1 = 2$  м, отмеренную от внутренней поверхности стены. Зона 2 шириной также  $b_1 = 2$  м располагается за зоной 1. Зона 3 занимает всю оставшуюся часть площади пола.

Среднее значение сопротивления теплопередаче пола определяется по формуле

$$R = \frac{R_1 S_1 + R_2 S_2 + R_3 S_3}{S_1 + S_2 + S_3}, \quad (5)$$

где  $R_1 = 4,3$ ;  $R_2 = 8,6$ ;  $R_3 = 14,0 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$ , а площадь зон  $S_1 = 2b_1[(l - 2b_c) + (b - 2b_c - 2b_1)]$ ;  $S_2 = 2b_1[(l - 2b_c - 2b_1) + (b - 2b_c - 4b_1)]$ ;  $S_3 = (l - 2b_c - 4b_1)(b - 2b_c - 4b_1)$ ,  $\text{м}^2$ ;  $l$  – длина помещения;  $b$  – ширина помещения;  $b_c$  – толщина стены;  $b_1 = 2$  м – ширина зон  $S_1$  и  $S_{II}$ .

Потери тепла через открытые ворота приближенно можно найти по формуле

$$Q_3 = (t_2 - t_b) \tau_0 (k_6 S_6 + m k_T S_T), \quad (6)$$

где  $t_b = 0$  – температура воды в резервуарах;  $k_6$  и  $k_T$  – коэффициенты теплопередачи через цилиндрическую и плоскую ледяные стенки;  $S_6 = \pi d_2 l$  и  $S_T = 2n\pi d_2^2 / 4$  – суммарные площади боковой и торцевой частей эквивалентных прямоугольным цилиндрических резервуаров в количестве  $n$ ;  $m$  – коэффициент учета теплопередачи через торцы резервуаров.

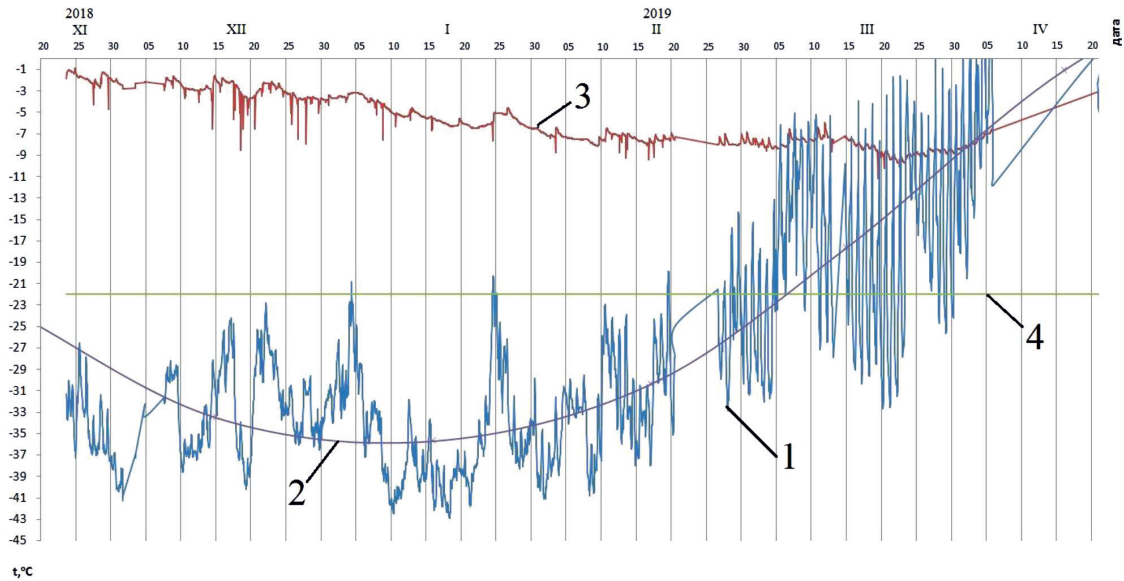
Коэффициенты теплопередачи определяются известными формулами

$$k_6 = \frac{1}{d_2 \left( \frac{1}{\alpha_b d_1} + \frac{1}{2\lambda_n} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_1 d_2} \right)}, \quad (7)$$

$$k_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{d_2 - d_1}{2\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_1}}, \quad (8)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  – средние за зиму внутренний и внешний диаметры эквивалентного цилиндрического ледяного тела;  $\alpha_b$  и  $\alpha_1$  – коэффициенты теплоотдачи от воды к цилиндрической внутренней поверхности льда и от внешней поверхности льда к воздуху помещения;  $\lambda_n$  – коэффициент теплопроводности льда.

Потери тепла на нагрев охлажденного автомобиля [5]



Температурные кривые в период эксперимента 2018–2019 гг: 1 – наружного воздуха, измеренные; 2 – наружного воздуха по данным [3]; 3 – воздуха в помещении; 4 – среднезимняя наружного воздуха

Необходимое количество воды определяется из равенства

$$Q = Q_{\phi} V, \quad (10)$$

где  $Q_{\phi}$  – объемная теплота фазового перехода воды, равная  $335,2 \cdot 10^3$  кДж/м<sup>3</sup>;  $V$  – общее количество воды в резервуарах.

*Основные результаты испытания опытного помещения и их обсуждение*

Проведено испытание опытного помещения в зимнее время, т.е. на этапе разрядки водяного аккумулятора тепловой солнечной энергии. Потери тепла из опытного гаража на этом этапе включают теплопередачу через стены и перекрытие в атмосферу, через пол в грунты основания, отток тепла через открывающиеся ворота для выезда и въезда автомобиля, затраты тепла на нагрев охлажденного автомобиля. Выхлопные газы при подогреве двигателя автомобиля отводились через шланг, пропущенный через отверстие в стене гаража. В процессе испытания объекта проводились наблюдения за температурой наружного воздуха, температурой воздуха в гараже и температурой грунтов его основания. Измерения температуры воздуха снаружи и внутри помещения проводились с интервалом 1 ч. Результаты этих измерений графически представлены на рисунке. Температура наружного воздуха 1 имеет минимум в середине января и характеризуется резкими колебаниями, особенно во второй половине зимы. Минимальная замеренная температура наружно-

го воздуха в период 2018–2019 гг. составила минус 42,0 °С.

Кривая 2 среднемесячных температур наружного воздуха, построенная по данным [4], в основном соответствует измеренным значениям ее в период 2018–2019 гг. Температура воздуха в гараже в течение зимы постепенно понижалась почти линейно и в среднем составила минус 4,0 °С. Такой характер изменения температуры в гараже, несмотря на повышение температуры наружного воздуха во второй половине зимы, вызван, очевидно, уменьшением величины площади теплообмена воды в резервуарах с поверхностью льда. Резкие колебания температуры наружного воздуха почти не оказывали влияния на температуру внутри гаража. На кривой температуры воздуха в помещении видны импульсные ее понижения, вызванные поступлением холодного воздуха в гараж при открывании ворот для выезда и въезда автомобиля. Следует отметить, что в некоторых случаях открывание ворот происходило во время отключенного состояния датчиков температуры воздуха в помещении и, вследствие этого, всплески температуры в это время не отражены на графике 3.

Результаты первого этапа испытаний опытного помещения показывают техническую возможность эффективного использования аккумулированной в воде тепловой солнечной энергии для отопления некоторых видов помещений в суровых климатических условиях. Выявлены некоторые

конструктивные недостатки в устройстве аккумуляторов тепла. Увеличение объема воды при ее замерзании вызвало повреждение некоторых резервуаров – вздутие дна, вырыв листового металла в местах сварных стальных уголков к внутренним поверхностям боковых стенок резервуаров. Конструктивное выполнение резервуаров оказалось неудовлетворительным – недостаточная толщина стенок, небольшой угол наклона стенок резервуаров, недопустимое устройство стяжек внутри резервуаров.

Фактическое значение потерь тепла из опытного помещения, равное количеству теплоты фазового перехода залитой в аккумуляторы воды, составляет 14849360 кДж. Приведенные зависимости потерь тепла из помещения и результаты выполненных и предстоящих испытаний опытного помещения позволят разработать методику теплотехнического расчета закрытых помещений, оборудованных системой солнечного отопления.

### Заключение

На основании проведенных исследований подготовлены основы для разработки методики теплотехнического расчета закрытых помещений, оборудованных водяным аккумулятором солнечного тепла

в качестве системы отопления до высоких отрицательных температур. Проведены результаты испытания опытного гаража, обогреваемого теплотой фазового перехода воды, в климатических условиях г. Якутска. Результаты испытания показали эффективность применения способа даже в очень суровых климатических условиях и необходимость решения технических задач обеспечения прочности резервуаров для воды.

### Список литературы

1. Бабаев Б.Д. Принципы теплового аккумулирования и используемые теплоаккумулирующие материалы // ТВТ. 2014. Т. 52. Вып. 5. С. 760–776.
2. Бараненко А.В., Кузнецов Л.А., Захарова В.Ю., Цой А.П. Применение веществ с фазовыми переходами для аккумулирования тепловой энергии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 6. С. 900–1000.
3. Кузьмин Г.П. Новые технологии использования теплоты фазовых переходов воды. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 5–2. С. 217–221.
4. Архив погоды в Якутске. Интернет-ресурсы. [Электронный ресурс]. URL: [https://tp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2\\_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B\\_%D0%B2\\_%D0%AF%D0%BA%D1%83%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%B5](https://tp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%AF%D0%BA%D1%83%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%B5) (дата обращения: 27.06.2019).
5. Малявина Е.Г. Теплотери здания: справочное пособие. 2011. 152 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rucont.ru/efd/270994> (дата обращения: 27.06.2019).



УДК 551.46.077

## РАЗВИТИЕ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЛЬЕФА ДНА И ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

<sup>1,2</sup>Римский-Корсаков Н.А., <sup>1</sup>Тронза С.Н., <sup>1</sup>Анисимов И.М.

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nrk@ocean.ru;

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва

Разработка гидролокаторов бокового обзора для океанологических исследований ведется в Институте океанологии с начала 1970-х гг. Вначале создавались ГБО шельфового геологического назначения, потом глубоководные для исследования мезорельефа дна и подводных объектов. В 1990-х гг. приоритетной стала область высокочастотных мобильных систем для обследования инженерных объектов и сооружений на мелководье и во внутренних водоемах с борта неспециализированных плавсредств малого водоизмещения. В настоящее время снова появился интерес к глубоководным системам для ресурсных и поисковых исследований на континентальном склоне и глубоководных участках шельфа, в том числе в морях Российской Арктики и на Черном море. Наряду с гидролокационными средствами используются аппараты для визуального дистанционного наблюдения придонной области океана в оптическом диапазоне. Такие системы используют, как правило, оптоволоконные линии связи, позволяющие передавать видеосигнал на большие расстояния в высоком качестве. Для работ на больших глубинах используются дорогостоящие грузонесущие кабели с оптоволоконном длиной до 10 км. Для снижения затрат логично такую линию связи использовать для всех буксируемых приборов, эксплуатируемых в рамках одной экспедиции на одном судне. В статье рассмотрены новые разработки технического направления Института океанологии в области глубоководных ГБО, выполненные с использованием современных технологий, таких как передача данных по оптоволоконным линиям связи, формирование и корреляционная обработка сложных сигналов, а также автономное электропитание подводной аппаратуры с использованием литий-ионных элементов.

**Ключевые слова:** гидролокатор, глубоководный, оптоволоконная линия, корреляционная обработка, автономное электропитание

## DEVELOPMENT OF THE DEEP-WATER SONAR TECHNOLOGIES FOR BOTTOM RELIEF AND UNDERWATER OBJECTS RESEARCH.

<sup>1,2</sup>Rimskiy-Korsakov N.A., <sup>1</sup>Tronza S.N., <sup>1</sup>Anisimov I.M.

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, e-mail: nrk@ocean.ru;

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow

The development of side scan sonar (SSS) for ocean research is conducted at the Shirshov Oceanology Institute since the early 70-ies of the last century. First, offshore geological SSS were created, then the deep-sea units – for bottom mesorelief and underwater objects study. In the 90s, the priority area was the high-frequency mobile systems for the engineering facilities and structures in shallow water and in inland waters survey from board of non-specialized small displacement vessels. The interest in deep-sea systems for resource and exploratory research on the continental slope and deep-sea shelf is now renewed, including Russian Arctic seas and the Black sea. Ocean bottom visual remote observation devices are used in addition with sonar equipment. Such systems use, as a rule, fiber-optic communication lines, allowing to transmit video signal over long distances in high quality. Expensive load-carrying cables with fiber optic up to 10 km length are used for great depths operations. To reduce costs, it is logical to use such a communication line for all towed devices operated within one expedition on one vessel. The article deals with Institute of Oceanology Engineering Department new developments in the field of deep-sea SSS, using modern technologies, such as data transmission over fiber-optic communication lines, the generating and processing of chirp signals, as well as autonomous power underwater equipment supply using lithium-ion elements.

**Keywords:** sonar, deep-sea, fiber-optic line, correlation processing, autonomous power supply

Целью исследования, представленного в настоящей работе, является анализ опыта разработок Институтом океанологии (ИО РАН) глубоководных гидролокаторов бокового обзора для океанологических исследований и прикладных работ и синтез на его основе новейших образцов глубоководных систем, использующих современные технические решения, материалы, электронные и механические устройства.

Материалом для анализа существующих технических решений при создании рассматриваемой глубоководной техники являются глубоководные ГБО в составе

буксируемых необитаемых подводных аппаратов (БНПА) типа «Мезоскан» и «Звук», которые создавались в 1980-х гг. для исследования морфологии мезомасштабных форм рельефа дна океана, а также поиска подводных объектов на глубинах до 6 км. Структура этих аппаратных комплексов определялась условиями работ в океане с борта научно-исследовательских судов водоизмещением более 1,5 тыс. т, имеющих лабораторные помещения, электросеть 220В 50Гц, мощные лебедки и спускоподъемные устройства. Основными элементами таких комплексов являлись: собственно

БНПА, буксирный грузонесущий кабель-трос с электропроводящей коаксиальной парой, буксировочное устройство (в простейшем случае канифас-блок), входящее в состав спуско-подъемного устройства, кабельная лебедка с вращающимся токосъемным переходом, судовой управляющий комплекс электронных устройств, а также аппаратура отображения и сбора получаемой информации. Впоследствии в состав последней стали включать управляющие ЭВМ. Описание БНПА типа «Звук» и «Мезоскан» можно найти в работе [1].

Наиболее технически совершенным из комплексов БНПА типа «Звук» является БНПА «Звук-МАФТ», созданный в 1980-х гг. в интересах Гидрографической службы (ГС) для исследований поверхности дна и подводных объектов. БНПА входил в состав аппаратного комплекса, который помимо ГБО был оборудован системой подводной навигации, глубомером, альтиметром, фото-стереосистемой, сверхчувствительной видеокамерой, импульсными светильниками и осветителями заливающего света, магнитометром, пилотажными датчиками, а также системой сбора информации на базе ЭВМ СМ1420. На рис. 1 представлена фотография подводного аппарата «Звук-МАФТ». Комплекс эксплуатировался до 1992 г. в Атлантическом океане, Черном, Средиземном и Балтийском морях [1, 2], а в начале 1990-х гг. был выведен из эксплуатации. Вследствие прекращения Россией интенсивных исследований в Мировом океане все глубоководные океанологические аппараты и комплексы ИО РАН к концу 1990-х гг. были утрачены.

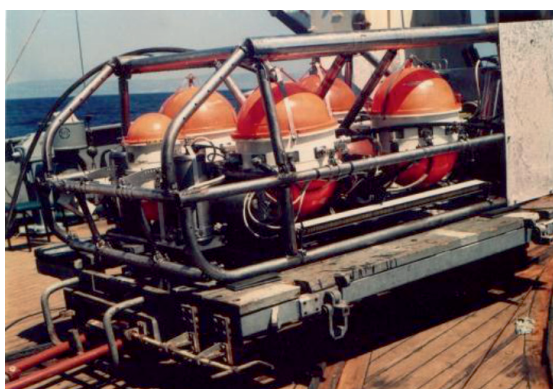


Рис. 1. Глубоководный буксируемый аппарат «Звук-МАФТ» (1991 г.).

Анализ результатов, полученных в процессе создания и эксплуатации БНПА «Звук-МАФТ», позволил в 1998 г. в ИО РАН снова создать глубоководный гидролокатор бокового обзора «Мезоскан». При этом была

достигнута минимизация весогабаритных характеристик, что позволило доставлять прибор к месту работ (дельта Волги, оз. Байкал, оз. Телецкое и др.) пассажирским транспортом. Усовершенствованная система передачи данных на базе электромеханических узкополосных фильтров позволила, с одной стороны, использовать одножильный геофизический грузонесущий кабель вместо дефицитного коаксиального, а с другой стороны – увеличить число гидролокационных каналов. Была разработана новая система регистрации гидролокационных данных (аппаратно-программный комплекс РАСТР), которые представлялись на мониторе ПЭВМ в виде движущегося окна и сохранялись в цифровом виде на жестком диске ПЭВМ. Комплект гидролокатора включал подводный носитель (ПН) с гидроакустическими антеннами (ГА) двух частот и бортовым электронным блоком (БЭБ), а также судовую аппаратуру в составе судового аналогового электронного блока (СЭБ), программируемого усилителя с АЦП и ПЭВМ. Электрически и механически обе части соединялись одножильным кабель-тросом длиной до 3 км, на котором буксировался ПН. Был реализован следующий алгоритм функционирования устройства. Работой СЭБ управляет ПЭВМ с помощью программируемого усилителя (ПРУ) и соответствующей программы реального времени. Синхронимпульсы (СИ), сформированные в СЭБ, через фильтры присоединения по одножильному или коаксиальному кабель-тросу поступают в БЭБ ПН, где инициируют излучение гидролокационной аппаратурой и ГА зондирующих импульсов. Принятые ГА эхо-сигналы усиливаются в БЭБ и через фильтры присоединения и кабель-трос поступают в СЭБ. В СЭБ эхо-сигналы вновь усиливаются, преобразовываются схемами ВАРУ и поступают в ПРУ. В ПРУ сигналы оцифровываются и вводятся в ПЭВМ, где осуществляется их отображение на экране монитора. Головной (макетный образец) гидролокационного комплекса «Мезоскан» с глубиной погружения до 2000 м, оборудован двумя ГБО с рабочими частотами 70 кГц и 240 кГц, акустическим профилографом с рабочей частотой 5 кГц и маяком-ретранслятором подводной системы навигации [3]. Характеристики гидролокатора приведены в таблице.

Впоследствии на производственной базе ОКБ Океанологической техники РАН с участием ИО РАН по программе «Модернизация материально-технической базы РАН» были построены еще три образца ГБО «Мезоскан-М» упрощенной конструкции, представляющие собой одночастотный ГБО с рабочей частотой 80 кГц и глубиной по-

грузения 2000 м. Один аппарат был передан в Южное, другой в Атлантическое отделения ИО РАН, а третий остался в распоряжении Лаборатории гидролокации дна и с 2002 г. постоянно использовался для исследования морфологии рельефа дна и подводных объектов, в том числе потенциально опасных – на Балтике, в Черном и Карском морях. На рис. 2 приведена фотография подводного носителя «Мезоскан-М». Принципиально функциональные схемы и конструкция судовой части гидролокаторов «Мезоскан-М» и «Мезоскан» не отличаются.



Рис. 2. Буксируемый глубоководный носитель ГБО «Мезоскан-М»/«Мезоскан-Т»: 1 – прочный корпус (труба) бортового электронного блока; 2 – антенна ГБО; 3 – груз-утяжелитель; 4 – узел подвески; 5 – стабилизатор; 6 – кабель-трос; 7 – герметичный ввод

Анализ результатов эксплуатации ГБО «Мезоскан» и «Мезоскан-М» позволил

сформулировать требования к разработке новых инновационных глубоководных гидролокационных систем. Основные требования состояли в повышении помехозащищенности каналов в линии связи и увеличении ее возможной длины до 10 км, а также в повышении энергетического потенциала гидролокаторов при неизменной или более высокой разрешающей способности [4]. Исходя из этих положений в 2018/19 году была проведена кардинальная модернизация гидролокатора «Мезоскан-М», дополнительный толчок которой дал переход в ИО РАН на кабель-тросы с оптико-волоконными жилами для глубоководных БНПА, несущих видеосистемы наблюдения за донными организмами и микрорельефом [5].

С учетом упомянутых выше требований модернизация гидролокатора включала следующие основные аспекты:

- переход на систему передачи информации от аппарата в судовую часть комплекса по оптико-волоконному кабелю;
- как следствие первого, переход на автономную систему энергоснабжения;
- переход от аналоговой обработки сигнала в ПН к цифровой;
- формирование сложных зондирующих посылок и согласованная фильтрация эхо-сигналов методом корреляционной обработки;
- размещение всех аппаратных средств гидролокатора в подводном носителе в виде бортового электронного блока.

#### Технические характеристики гидролокатора бокового обзора «Мезоскан-М»

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Рабочая частота, кГц	70/240
2	Раскрыв главного лепестка характеристики направленности на уровне половинной мощности, град	0,75°x60°/1°x60°
3	Длительность зондирующего сигнала, мс	0,05/0,2/1,0
4	Тип зондирующего сигнала	тональная посылка
5	Тип подводного носителя	буксируемый
6	Максимальная рабочая дальность, м	750
7	Максимальная глубина обследуемого водоема, м	2000
8	Максимальная частота следования зондирующих импульсов, Гц	5/10
9	Максимальная электрическая мощность в импульсе, Вт	300
10	Максимальная скорость движения, узлы	6
11	Частота аналогово-цифрового преобразования, кГц	100
12	Разрядность аналогово-цифрового преобразования	8
13	Тип системы сбора и отображения информации	ПЭВМ
14	Масса подводного носителя, кг	60
15	Габариты подводного носителя, м	1,9x0,3x0,3
16	Масса судового блока, кг	2,5
17	Габариты судового блока, мм	250x150x300
18	Электроснабжение	220В



На рис. 3 представлен бортовой электронный блок (БЭБ) ГБО «Мезоскан-Т». БЭБ размещается в цилиндрическом корпусе из нержавеющей стали (рис. 2, поз. 1), рассчитанном на действие внешнего гидростатического давления 250 атм. Корпус имеет две крышки, снабженные парными герметичными радиальными уплотнениями. Носовая крышка глухая. Кормовая крышка снабжена, во-первых, герметичными электроразъемами для подключения гидроакустических антенн левого и правого борта, а во-вторых, вводом для подключения оптического волокна. Кроме того, крышка является консолью, к которой крепится БЭБ (рис. 3).

Для механической (буксировка) и электрической (передача информации и команд управления) связи подводной и судовой частей аппаратного комплекса ГБО использован оптоволоконный грузонесущий кабель КГ1х3Е-70-60-3 ООО «Псковгеокабель». Функциональная схема гидролокатора приведена на рис. 4.

Основной частью ГБО «Мезоскан-Т» является блок генерации и обработки сигналов, который установлен в цилиндрическом прочном корпусе подводного носителя гидролокатора и выполнен в виде печатной платы с двусторонним монтажом

радиоэлементов. Блок обеспечивает, во-первых, синхронную работу подводной части гидролокатора и программного обеспечения отображения и сбора информации, установленного на судовой ПЭВМ, через оптико-волоконный канал связи буксирного кабель-троса посредством оптических модемов и интерфейса Ethernet. Во-вторых, блок генерирует линейно-частотно-модулированные (ЛЧМ) сигналы, которые используются для формирования зондирующих акустических импульсов. В-третьих, здесь осуществляется согласованная фильтрация принятых сигналов, которая заключается в их оцифровке и корреляционном анализе с последующим детектированием. В заключение в блоке детектированный сигнал обрабатывается для передачи в ПЭВМ через интерфейс Ethernet по оптической системе связи.

Основу блока генерации и обработки сигнала составляет микроконтроллер STM32F407 с 32-битным ядром ARM Cortex-M4. Как видно, на этом микроконтроллере реализована наибольшая часть функциональности гидролокатора, а остальные элементы гидролокатора (отображение данных и их регистрация) реализованы в виде программы, установленной на судовой ПЭВМ.

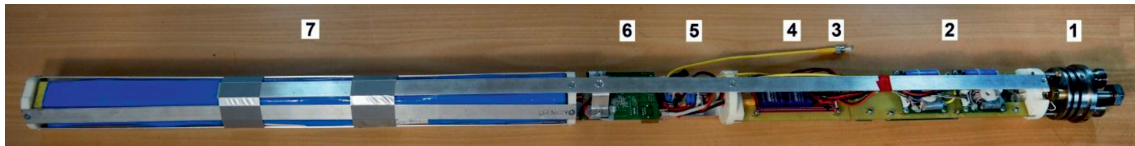


Рис. 3. Подводный электронный блок ГБО «Мезоскан-Т»: 1 – крышка прочного корпуса (консоль БЭБ) с герметичными разъемами антенн и вводом оптоволокна; 2 – усилители мощности левого и правого каналов ГБО; 3 – вывод оптической жилы; 4 и 5 – вторичные источники питания; 6 – оптоволоконный модем; 7 – литий-ионная батарея емкостью 60 Ач напряжением 12В

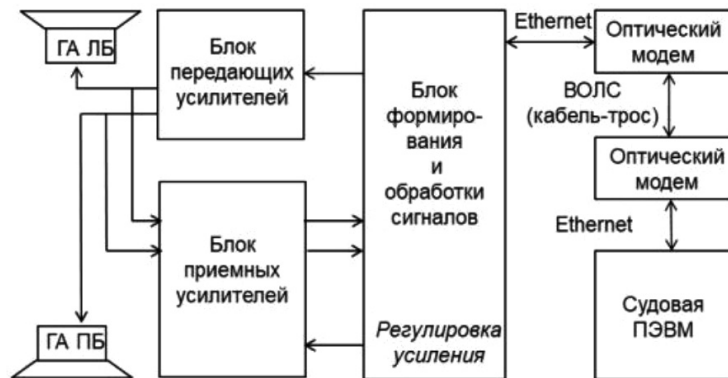


Рис. 4. Структурная схема гидролокатора «Мезоскан-Т»: ГА – гидроакустическая антенна; ЛБ – левый борт, ПБ – правый борт; ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи



Для обеспечения синхронизации работы и информационной связи судовой и подводной частей выбран интерфейс Ethernet. Этот выбор сделан не случайно. Интерфейс Ethernet широко применяется в компьютерных сетях и в различном цифровом оборудовании. Использование этого интерфейса в качестве основного позволяет встроить блок (плату) генерации и обработки сигнала практически в любой комплекс, где предполагается сбор данных с помощью персонального компьютера.

Блок генерации и обработки сигналов способен генерировать и обрабатывать ЛЧМ сигналы с различной несущей частотой, девиацией частоты и длительностью и фактически является универсальным элементом, который можно применять в различных гидролокационных приборах без изменений.

Согласованная фильтрация сигнала в блоке генерации и обработки осуществляется преимущественно в цифровом виде. Принятый сигнал, поступающий с гидроакустической антенны ГБО, усиливается приемным усилителем со встроенным полосовым фильтром, настроенным на несущую центральную частоту сигнала. Далее происходит оцифровка сигнала с помощью внешних АЦП с разрядностью 16 бит. Затем с помощью алгоритмов в микроконтроллере осуществляется корреляционный анализ сигнала и его последующее амплитудное детектирование.

Приемные усилители осуществляют усиление и предварительную полосовую фильтрацию принятого сигнала. Они построены на основе малошумящих операционных усилителей и активных фильтров. Важной особенностью приемных усилителей является то, что они обладают программируемым коэффициентом усиления, изменение которого управляется командами, поступающими от платы генерации и обработки сигнала. Коэффициент усиления может регулироваться в диапазоне от 40 до 80 дБ в процессе функционирования гидролокатора. Регулировка коэффициента осуществляется из рабочего окна гидролокационной программы реального времени судовой ПЭВМ через ВОЛС.

Бортовой оптический модем преобразует информационные сигналы, поступающие на его вход через интерфейс Ethernet в сигналы оптической линии, а судовой оптический модем на другом конце линии преобразует эти сигналы в электрические, которые через выходной интерфейс Ethernet модема поступают в ПЭВМ. В ГБО «Мезоскан-Т» был использован преобразователь модели

Planet FST-806B20. При необходимости (линия связи иного типа) может быть использован преобразователь Ethernet-коаксиальная пара или иной. Также преобразователи могут вообще не использоваться в случае монтажа ГА непосредственно на судне, когда подводный носитель ГБО не требуется.

Буксируемый глубоководный ГБО «Мезоскан-М» начиная с 2007 г. постоянно использовался для исследования и уточнения местоположения подводных объектов, в том числе потенциально опасных на Балтике, в Черном и Карском морях [6, 7]. Эксплуатация ГБО «Мезоскан-Т» началась с 2019 г. Гидролокатор был использован при обследовании одного из малоизвестных объектов, упомянутых в «Белой Книге – 2000». Объект расположен в «устьевой» части залива Абросимова восточного побережья Новой Земли в Карском море. Объект фиксировался в том числе в процессе гидролокационной съемки 2013 г. с использованием гидролокатора «Мезоскан-М». Полученное тогда изображение представлено на рис. 5, а. Природу объекта по полученному в 2016 г. изображению определить не удалось. Под сомнением было также его техногенное происхождение. В 2019 г. было предпринято обследование объекта с использованием модернизированного ГБО «Мезоскан-Т». Первый же проход с модернизированным гидролокатором позволил не только определить структуру и природу объекта, но и «рассмотреть» отдельные составляющие, такие как бочки, контейнеры и агрегаты системы вентиляции. Последующий видеоосмотр объекта с помощью телеуправляемого необитаемого аппарата (ТНПА) полностью подтвердил гидролокационную информацию. На рис. 5 приведены гидролокационные изображения исследованного объекта, полученные в 2013 г. и в 2019 г. с использованием соответственно ГБО «Мезоскан-М» и «Мезоскан-Т».

Представленные результаты экспериментальных исследований подтверждают правильность выбранных направлений развития глубоководных гидролокационных технологий на основе анализа разработок Института океанологии прошлых лет. Можно утверждать, что прогресс в разработке глубоководных буксируемых, в том числе гидролокационных, систем связан с оптоволоконными линиями и цифровыми каналами связи, исключением системы передачи энергии по кабелю, автономными литий-ионными источниками питания, а также технологиями согласованной фильтрации на основе корреляционного анализа.

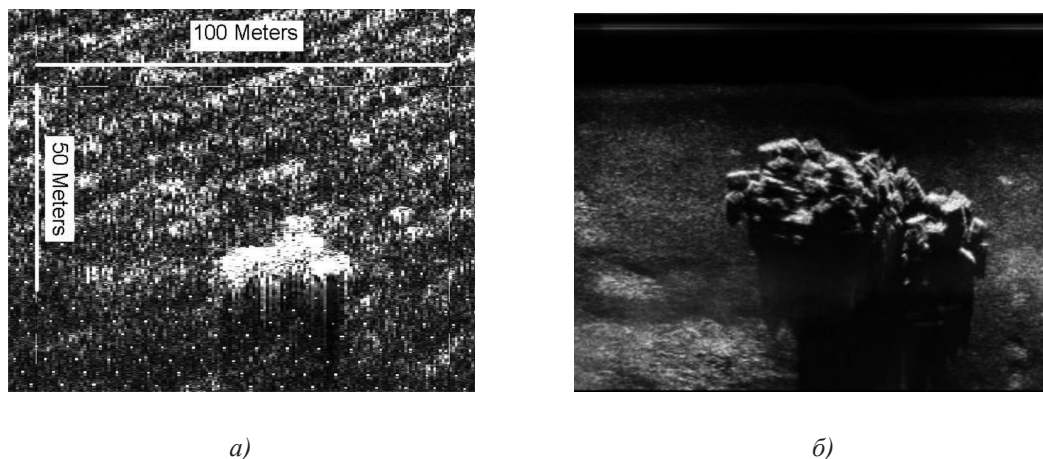


Рис. 5. Гидролокационное изображение подводного объекта (группа контейнеров с отходами размером  $1 \times 1 \times 1,5$  м): а) полученное с помощью гидролокатора бокового обзора «Мезоскан-М» в 2013 г.; б) полученное с помощью модифицированного гидролокатора бокового обзора «Мезоскан-Т», в 2019 г. – размер кадра  $70 \times 50$  м

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0011) при частичной поддержке РФФИ (проект «Арктика» № 18-05-60070 и Р<sub>20</sub>\_а №17-05-41041).

Авторы выражают признательность Я.И. Белевитневу, С.В. Жаворонкову и А.А. Пронину за помощь в подготовке экспериментальных исследований.

#### Список литературы

1. Римский-Корсаков Н.А. Исследования морских глубин гидролокационными методами. // Освоение морских глубин. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2018. С. 360–365.
2. Галкин С.В., Сагалевиц А.М. Гидротермальные экосистемы Мирового океана. Исследования с глубоководных обитаемых аппаратов «Мир». М.: ГЕОС, 2012. 144 с. + 80 с.
3. Суконкин С.Я. Технические средства для фундаментальных исследований Мирового океана // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. С. 104–117.
4. Безрукин А.Г., Токмачев Д.А., Ченский А.Г. Гидролокатор бокового обзора с аппаратной ЛЧМ сверткой // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. XIV Всерос. научно-технической конференции. М., 2015. Т. 1. С. 248–251.
5. Анисимов И.М., Белевитнев Я.И. Буксируемый обитаемый подводный аппарат для осмотровых и поисковых работ // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. XV Всерос. научно-технической конференции. М., 2017. Т. 2. С. 267–270.
6. Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е. Особенности инструментального контроля захоронений радиоактивных объектов в заливах Новой Земли в Карском море // Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований: матер. научной конференции. М., 2015. С. 255–258.
7. Флинт М.В. Экспедиция «Экосистемы Российской Арктики – 2017» // Освоение морских глубин. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2018. С. 52–56.

СТАТЬИ

УДК 53.08

**ПРАКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

**Дубас Л.Г.**

*НИЦ «Курчатовский институт», Москва, e-mail: sudarih@gmail.com*

Для базисной системы единиц физических величин число фиксируемых фундаментальных констант соответствует: постоянной вакуумной скорости света, постоянной волнового сопротивления вакуума, постоянной единице физического действия и постоянной массе покоя электрона в вакууме. Для введения основной естественной единицы массы будет использована величина, пропорциональная массе покоя электрона. Масса покоя электрона вычисляется на основе измерений постоянных величин тонкой структуры, Джозефсона и Клитцинга при заданных постоянных величинах вакуумной скорости света и волнового сопротивления вакуума. Неопределенность условного истинного значения обозначается погрешностями рабочих калибровок, методическими погрешностями, статистикой наблюдаемых результатов. Если в качестве истинного значения принять среднее взвешенное значение исправленных результатов при многократных наблюдениях, неопределенность условного истинного значения будет также обусловлена методической, аппаратной погрешностью и статистической погрешностью обработки результатов многократных наблюдений. Предполагаемое истинное значение определяется по некоторой модели, и тогда возникает неопределенность условного истинного значения относительно истинного значения, установленного по модели высокого уровня. Оценка этой неопределенности может быть произведена путем сравнения функций неопределенности для адекватных моделей разного уровня по определенным критериям неопределенности и погрешности результата измерения. В основу практической системы положен принцип простоты описания электромагнитных полей.

**Ключевые слова:** скорость света, волновое сопротивление, квант действия, масса электрона, электромагнитная масса, тонкая структура, постоянная Джозефсона и постоянная Клитцинга

**PRACTICAL SYSTEM OF UNITS OF NATURAL PHYSICAL QUANTITIES**

**Dubas L.G.**

*RNC «Kurchatovsky Institute», Moscow, e-mail: sudarih@gmail.com*

For basic system of units of physical quantities the number of fixed fundamental constants corresponds to: a constant vacuum velocity of light, constant wave resistance of vacuum, constant unit of physical action and constant rest mass of an electron in vacuum. For introduction of the basic natural mass unit the quantity proportional to a rest mass of an electron will be used. The electron rest mass is calculated on the basis of measurements of constant of thin structure, Josephson and Klitzing constants at the given constants of a vacuum velocity of light and wave impedance of vacuum. Uncertainty of conditional true value is defined by errors of working calibrations, methodical errors and statistics of observable results. If to accept the average weighed value of the corrected results as true value at repeated supervision, uncertainty of conditional true value also will be caused as methodical, an instrument error and a statistical error of processing results of repeated supervision. Prospective true value is determined on some model and then there is an uncertainty of conditional true value concerning the true value established on model of high level. The estimation of this uncertainty can be made by comparison of functions of uncertainty for adequate models of different level by certain criteria of uncertainty and an error of measurement result. At the heart of practical system the principle of simplicity of the description of electromagnetic fields is put.

**Keywords:** velocity of light, wave impedance, a quantum action, electron mass, electromagnetic mass, the thin structure, Josephson constant and Klitzing constant

*Введение в представление о системе  
единиц физических величин*

Закономерности окружающей человека природы выражаются в виде соотношений количественных характеристик тех или иных явлений. Эти количественные характеристики называют физическими величинами. Значение физической величины есть оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Естественные системы единиц физических величин имеют значение для представления физических явлений в микроскопической области пространства. Применительно к разным сферам физических представле-

ний возможно построение различных естественных систем единиц. Применительно к физике пучков заряженных частиц автором была предложена базисная натуральная единица эмиттансного импульса, для описания яркости пучка [1].

Цель исследования заключается в предложении дальнейшего обобщения представлений о естественной системе единиц для физики движения заряженных частиц, в связи с современными точными измерениями: массы электрона, постоянной тонкой структуры, постоянной Джозефсона и постоянной Клитцинга. Для введения основной естественной единицы массы будет использована величина, связанная с массой покоя

электрона. Коэффициент кратности назначен дробным числом  $N = 15089,0688166$ . Такой выбор может быть понятным из нижеследующего изложения, которое связано с концепцией электромагнитной массы [2].

Метод исследований и материал представлений в области создания эталонов физических величин базируется на создании единого стандарта на основе натуральных единиц физических величин. Кроме того, имеет значение универсальность стандарта, так как он охватывает все области науки и техники. В настоящее время все отрасли науки и техники так или иначе связаны между собой, и существование для тех же самых физических величин различных систем и внесистемных единиц в зависимости от области применения приводит к значительным неудобствам. Наконец, система естественных единиц физических величин и возможный на ее основе стандарт упрощают формулы, так как освобождают их от части возможных коэффициентов.

Нужно также иметь в виду, что стандарт не является документом, охватывающим все возможные единицы физических величин. По мере развития науки и техники возникают новые понятия и новые физические величины, некоторые физические понятия и единицы физических величин дифференцируются. Это процесс непрерывный, и включение таких величин в терминологические и другие стандарты является, по сути, формальным закреплением того, что вытекает из существующей практики.

Естественная система единиц физических величин накладывает одно существенное ограничение – новые единицы должны определяться как производные из уже образованных ранее единиц по тем правилам, которые для этого предусмотрены в системе.

Одно из основных требований обобщений естественной системы единиц дополнительных физических величин – это когерентность, т.е. уравнения связи единиц с другими единицами системы, по отношению к которым они являются производными, могут содержать в качестве коэффициентов лишь целые степени десяти. Следует отметить, что это требование удается реализовать только в соотношениях между единицами физических величин. Формулы, связывающие физические величины, во многих случаях содержат коэффициенты, отличные от целых степеней десяти.

Если производная единица связана с другими единицами в системе уравнением, в котором числовой коэффициент равен единице (простая когерентность) или целой степени десяти (десятичная когерентность), то такая производная единица называется

когерентной по отношению к тем единицам, с которыми она связана. Системы единиц, все производные единицы которой когерентны, называются когерентными системами единиц физических величин. Когерентные производные единицы образуют с помощью уравнений связи между величинами. В этих уравнениях числовые коэффициенты могут быть равны единице или отличаться от нее. В простых системах числовые коэффициенты связей равны единице.

#### *Естественная система единиц физических величин*

Для формирования концептуальной системы взглядов на основе системного подхода необходимо учитывать взаимосвязи и взаимовлияние базисных физических единиц [3–6].

Рассмотрим натуральную систему (НС) базисных физических величин. Введем одну из натуральных физических единиц – единичное значение скорости, равное скорости света.

$U = 2,99792458 \cdot 10^8$  м/с, (точно);  $U = c$ , (1)  
где  $c$  – значение постоянной скорости света в вакууме.

Кроме того, введем также натуральную физическую единицу – постоянное электромагнитное волновое сопротивление вакуума.

$$R = 40 \cdot \pi \cdot 2,99792458 \text{ Ом, (точно);}$$

$$R = R_0, \quad (2)$$

где  $R_0$  – постоянное волновое сопротивление вакуума.

Введем ещё одну из натуральных физических единиц – квантовое постоянное единичное значение величины физического действия.

$$H = 4,135\ 667\ 696 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с},$$

где  $H$  – единица действия. Размерность действия в электрон-вольтах\*секундах.

Для определения единичной величины массы и электрического тока и напряжения воспользуемся аналогом микроскопической единицей энергии в электрон-вольтах.

$$q \cdot V = M \cdot c^2; M = w \cdot m; w = 15089,0688166;$$

$$V = 931,494102 \text{ МВ}; I = 2,47257539 \text{ МА}, \quad (3)$$

где  $m$ ,  $M$  – величины массы покоя электрона и естественной единицы массы;  $Q$  – единичная величина электрического заряда;  $I$ ,  $V = I \cdot R_0$  – единичная величина электрического тока и напряжения соответственно;  $w$  – дробное число, определяющее количество частей масс покоя электрона в единичном значении массы;  $q$  – единичный электрический заряд.



Аналогично введем единичную величину времени и электрического заряда.

$$q = 1,32621132 \cdot 10^{-18} \cdot \text{Кл}; T = q / I = 1 / (w \cdot f) / (86988521591) = 5.36368406 \cdot 10^{-25} \text{ с}; \quad (4)$$

$$Q = (\text{beta}) \cdot q; \text{beta} = \sqrt{(Q^2 R_0 / H)} = 1 / 8,277559999,$$

где  $Q$  – модуль заряда электрона как дополнительная натуральная единица;  $\text{beta}$  – зарядовый фактор, равный величине модуля заряда электрона в натуральных единицах электрического заряда;  $T$  – натуральная единица времени в квазиинерциальной системе координат;  $f$  – циклическая частота водородного стандарта частоты (водородного лазера).

Используя концепцию для электромагнитной массы [2] по отношению к единичной массе, введем дополнительную единицу количества вещества для атомной единицы массы.

$$W = \text{e.a.e.m.}-\text{молекула}; \text{e.a.e.m.} = w \cdot m \cdot \text{beta};$$

$$w = 15089,0688166, (\text{define}); \bar{w} = 15089,$$

где  $\text{e.a.e.m.}$  – конкретная аппроксимация для углеродной атомной единицы массы например;  $\bar{w}$  – простая целочисленная аппроксимация ‘ $w$ ’ для углеродной атомной единицы массы.

Здесь предполагается введение эталона из  $24 \cdot W$  единиц вещества, содержащего 12 подобных атому дейтерия структурных элементов, находящихся в двухатомной молекуле углерода-12, определяемой количеством вещества  $24 \cdot N^* \cdot \text{a.e.m.}$ -молекул.

Кроме того, можно ввести две дополнительные единицы измерения величины на основе массы покоя электрона, которые, например, могут быть использованы для обоснования единицы силы видимого света или силы инфракрасного лучистого тепла натуральной системы на платиновом или золотом раскаленном эталоне (при затвердении) соответственно.

$$Z = m^2 \cdot c^4 / (H \cdot 4 \cdot \pi^* \cdot \text{стерадиан}), \quad (5)$$

$$G = Z, S = Z, \quad (6)$$

где  $G$  – натуральная единица силы света,  $S$  – натуральная единица силы лучистого тепла.

Тоже можно ввести другую полуосновную единицу измерения величины эмиттансного импульса [1]. Эта единица может использоваться для описания яркости пучка частиц.

$$P = m \cdot c \cdot 79/2, \quad (7)$$

где  $P$  – полуосновная натуральная единица эмиттансного импульса для пучка частиц.

Введем натуральную единицу температуры равную внутренней энергии электрона.

$$K = m \cdot c^2, \quad (8)$$

где  $K$  – полуосновная натуральная единица температуры.

Тоже квадратный корень из одного сферического стерадианного угла полагается, как и радиан, полуосновной естественной единицей угла поворота [7].

Итак, получаем полный набор из четырех основных, четырех полуосновных и четырех дополнительных единиц натуральной системы и созданной ниже на ее основе практической системы единиц.

*Практическая когерентная система единиц физических величин*

То, что было рассмотрено выше для основных и полуосновных натуральных физических величин, относится к некоторым величинам в микроскопической области пространства. Для того чтобы расширить область применения в макроскопическую область пространства, необходимо, например, использовать дополнительные десятичные множители.

Большое значение для улучшения условий международного сотрудничества в области науки и техники имеет создание единого стандарта на основе практической системы единиц измерения физических величин в рамках международного сотрудничества. Кроме того, имеет значение универсальность стандарта, так как он охватывает все области науки и техники. В настоящее время все отрасли науки и техники так или иначе связаны между собой, и существование для тех же самых физических величин различных систем и внесистемных единиц в зависимости от области применения приводит к некоторым неудобствам. Наконец, практическая система единиц и утвержденный на ее основе стандарт упрощают формулы, так как освобождают их от части коэффициентов, отличных от целых степеней десяти.

Если производная единица связана с другими единицами в системе уравнением, в котором числовой коэффициент равен единице, то такая производная единица называется когерентной по отношению к тем единицам, с которыми она связана.

Системы единиц, все производные единицы которой когерентны, называются ко-

герентными системами единиц физических величин. Когерентные производные единицы образуют с помощью уравнений связи между величинами.

В уравнениях числовые коэффициенты могут быть равны единице или отличаться от нее. Если исходное уравнение связи содержит числовой коэффициент, отличный от единицы, получить когерентную единицу, возможно, после некоторого преобразования для величины.

Десятичные когерентные производные единицы образуют с помощью уравнений связи между величинами с числовыми коэффициентами, равными неким десятичным множителям.

Число фиксируемых фундаментальных констант соответствует: постоянной вакуумной скорости света, постоянной волнового сопротивления вакуума, постоянной единицы физического действия и постоянной вакуумной массы покоя электрона.

Здесь масса покоя электрона вычисляется на основе измерений постоянных величин тонкой структуры, Джозефсона и Клитцинга при заданных постоянных величинах вакуумной скорости света и волнового сопротивления вакуума.

Неопределенность условного истинного значения обозначается погрешностями рабочих калибровок, методическими погрешностями, статистикой наблюдаемых результатов. Если в качестве истинного значения принять среднее взвешенное значение исправленных результатов при многократных наблюдениях, неопределенность условного истинного значения будет также обусловлена методической, аппаратурной погрешностью и статистической погрешностью обработки результатов многократных наблюдений.

Предполагаемое истинное значение определяется по некоторой модели и тогда возникает неопределенность условного истинного значения относительно истинного значения, установленного по модели высокого уровня. Оценка этой неопределенности может быть произведена путем сравнения функций неопределенности для адекватных моделей разного уровня по определенным критериям неопределенности и погрешности результата измерения.

Предположим задание однопараметрической последовательности целочисленных параметров для семейства когерентных десятичных систем единиц физических величин. Тогда получим однопараметрическую последовательность различных систем единиц физических величин, среди которых можно найти ( $n = 3$ ) наиболее близкую в логарифмическом

масштабе к рассматриваемой практической области естествознания.

$$T_n = T \cdot 10^{8n}; U_n = U \cdot 10^{-3n}; M_n = M \cdot 10^{9n}; \\ R_n = R \cdot 10^{-n}, \text{ (for basic system of units);}$$

$$K_n = K \cdot 10^{-3n}; P_n = P \cdot 10^{4n}; Q_n = Q \cdot 10^{6n}; \\ W_n = W \cdot 10^{8n}, \text{ (2 semi basic and 2 additional units),}$$

где  $n$  – целочисленный параметр в некоторой последовательности единиц физических величин. Для натуральной системы единиц  $n = 0$ . Для практической системы единиц  $n = 3$ .

Приведем предполагаемые названия для других дополнительных систем; для молекулярной системы  $n = 2$  и для штатной системы  $n = 4$ .

Для  $n = 3$  теоретически построим практическую систему физических единиц (ПС).

В основу (ПС) положен принцип простоты описания электромагнитных полей; принцип простого равенства напряженностей и индукций полей в частном случае вакуума.

Стандарт практической системы не ограничивает применение тех или иных дополнительных единиц в научных исследованиях и публикациях теоретического характера в области естествознания, в которых предполагается использование результатов аналитических расчетов и теоретического моделирования для физических величин.

Практическая система накладывает одно существенное ограничение – новые единицы должны определяться как производные из уже образованных ранее единиц по тем правилам, которые для этого предполагается предусмотреть в практической системе.

Одно из основных требований практической системы – это десятичная когерентность, т.е. уравнения связи единиц с другими единицами системы, по отношению к которым они являются производными, могут содержать в качестве коэффициентов лишь целые степени десяти. Следует отметить, что это требование удается реализовать только в соотношениях между единицами физических величин. Формулы, связывающие физические величины, во многих случаях содержат коэффициенты, отличные от целых степеней десяти.

Десятичные кратные и дольные единицы, а также их наименования и обозначения следует образовывать с помощью множителей и приставок.

Практическая система единиц состоит из четырех основных единиц, четырех полуосновных единиц, четырех дополнительных единиц и производных единиц, образованных из основных, полуосновных и дополнительных единиц. Некоторые производные единицы могут иметь специальные унифицированные наименования.

Величины электрических и магнитных полей, записанные в СИ и в ПС

Определение величины (закон)	Физические единицы	
	СИ	ПС
Сила напряженности электрического поля E	$F = q \cdot E$	
Связь между E и D	$D = \epsilon_0 \epsilon E$	$D = \epsilon E$
Сила индукции магнитного поля B	$F = q \cdot [u \times B]$	$F = \frac{q}{c} \cdot [u \times B]$
Связь между B и H	$B = \mu_0 \mu H$	$B = \mu H$
Уравнения Максвелла (в частных производных)		
Закон Фарадея	$rot E = -\frac{dB}{dt}$	$rot E = -\frac{dB}{cdt}$
Закон для плотности тока	$rot H = j + \frac{dD}{dt}$	$rot H = j \cdot R_0 + \frac{dD}{cdt}$
Теорема Гаусса	$div D = \rho$	$div D = \rho \cdot c \cdot R_0$
Нулевой источник магнитной индукции	$div B = 0$	

Здесь  $\mu$ ,  $\epsilon$ ,  $\mu_0$ ,  $\epsilon_0$  – магнитная и диэлектрическая проницаемости среды и вакуума.

Производные единицы ПС, имеющие специальные наименования, также могут быть использованы для образования других производных единиц ПС. Существует ограниченная группа единиц, которые не во всех случаях можно заменить единицами ПС. Возможен дополнительный перечень единиц, допускаемых к применению наравне с единицами ПС без ограничения срока, приемлемых лишь в обоснованных случаях.

*Результаты исследований для двух систем единиц физических величин*

Размерность физической величины есть выражение, отражающее ее связь с основными величинами системы. Следует обратить внимание на то, что одинаковая размерность двух величин отнюдь не означает, что эти величины идентичны, так как они могут иметь различный физический смысл. Если в системах используются одни и те же значения с одинаковыми размерностями, то в общем случае физические величины могут быть разные.

В таблице представлены электромагнитные величины в двух системах единиц (СИ, ПС).

Резльтирующее значение для улучшения условий международного сотрудничества в области науки и техники имеет создание единого стандарта на основе интернациональной или практической системы в рамках международного сотрудничества.

Основное отличие ПС от СИ заключается в том, что в вакууме происходит со-

впадение напряженностей электрического и магнитного полей с соответственными индукциями соответствующих полей. Этот принцип простоты положен в основу построения практической системы единиц для электрических и магнитных полей.

Так же как в СИ, и в ПС используется рационализация законов электромагнитного поля.

**Заключение**

В области физики заряженных частиц возможно введение четырех основных и четырех полуосновных натуральных релятивистских квантовых единиц измерения величин, совместимых с традиционным использованием практических единиц измерения величин.

Такое введение четырех основных, двух полуосновных и двух дополнительных единиц для двух уровней микроскопического и макроскопического масштабов предполагает выбор новых единиц с целью представлений в конкретном диапазоне измерения величин.

В основу практической системы положен принцип простого равенства напряженностей и индукций для электрических и магнитных полей в частном случае вакуумной среды.

**Список литературы**

1. Dubas L.G. Quark mass unit. European journal of natural history. 2013. № 3. P. 77–78. [Electronic resource]. URL:

<http://world-science.ru/pdf/2013/3/38.pdf> (date of access: 20.08.2019).

2. Dubas L.G. Electromagnetic mass of an electron. *European Journal of Natural History*. 2014. № 2. P. 65–65. [Electronic resource]. URL: <http://world-science.ru/pdf/2014/2/25.pdf> (date of access: 20.08.2019).

3. Лукашов Ю.Е., Маликова Х.О., Сквородников В.А. Концептуальный подход к проблемам совершенствования метрологического обеспечения в РФ // *Законодательная и прикладная метрология*. 2013. № 3. С. 4–7.

4. Бронников К.А., Калинин М.И., Кононогов С.А., Мельников В.Н., Хрущёв В.В. Теоретические исследования

различных наборов фундаментальных физических констант, необходимых для новых определений основных единиц СИ // *Законодательная и прикладная метрология*. 2013. № 2. С. 2–14.

5. Каплан Б.Ю. Об основных терминах метрологии в учебниках // *Законодательная и прикладная метрология*. 2013. № 1. С. 52–55.

6. Лобанков В.М. О цели и результате измерений // *Законодательная и прикладная метрология*. 2010. № 6. С. 10–13.

7. Коган И.Ш. Угол поворота – основная физическая величина // *Законодательная и прикладная метрология*. 2011. № 6. С. 57–67.



УДК 535.41:778.38

## ОСОБЕННОСТИ ЗАПИСИ ГОЛОГРАММ ФРЕНЕЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Исманов Ю.Х., Жумалиев К.М., Алымкулов С.А.

*Институт физики им. академика Ж.Ж. Жээнбаева НАН Кыргызской Республики,  
Бишкек, e-mail: i\_yusupjan@mail.ru*

Теоретически проанализирован процесс записи голограмм Френеля с использованием двух опорных пучков. Показано, что световая волна, несущая информацию об объекте, может быть рассмотрена как сумма двух волн: волна не испытывавшая возмущений, а значит, ее можно использовать как опорную волну, и возмущенная объектом волна, которая несет информацию об объекте. Волна, несущая информацию об объекте – это классическая объектная волна, а невозмущенная волна действует как вторая опорная волна, соосная объектной волне, помимо основной, падающей под углом к объектной волне. Такой подход позволяет рассматривать записанную голограмму как сочетание двух голограмм – осевой (голограмма Габора) и внеосевой (голограмма Лейта). Кроме указанных голограмм, в плоскости записи формируется третья голограмма, представляющая собой изображение решетки. Появление этой решетки объясняется как результат интерференционного сложения двух опорных волн – наклонной и соосной объектной волне. Пространственную частоту изображения этой решетки можно варьировать, изменяя угол между двумя опорными волнами. При восстановлении голограммы указанная решетка действует на опорную волну как линза, или зонная пластинка Френеля. Учет невозмущенной составляющей объектной волны при записи голограмм приводит к возникновению дополнительных компонентов, описывающих новые функциональные свойства рассмотренной голограммы.

**Ключевые слова:** объектная волна, опорная волна, соосная опорная волна, метод Габора, голограмма Френеля

## FEATURES OF RECORDING OF FRENEL HOLOGRAMS OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS

Ismanov Yu.Kh., Zhumaliev K.M., Alymkulov S.A.

*Institute of Physics named after academician Z.Z. Zheenbaev of the National Academy of Sciences  
of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: i\_yusupjan@mail.ru*

Theoretically analyzed the process of recording Fresnel holograms using two reference beams. It is shown that a light wave carrying information about an object can be considered as the sum of two waves: a wave that did not experience perturbations, which means it can be used as a reference wave, and a wave disturbed by an object that carries information about the object. The wave carrying information about the object is a classical object wave, and the unperturbed wave acts as a second reference wave, coaxial to the object wave, in addition to the main wave incident at an angle to the object wave. This approach allows us to consider the recorded hologram as a combination of two holograms – axial (Gabor hologram) and off-axis (Leith hologram). In addition to these holograms, a third hologram is formed in the recording plane, which is an image of the lattice. The appearance of this lattice is explained as the result of the interference addition of two reference waves – an inclined and coaxial object wave. The spatial frequency of the image of this lattice can be varied by changing the angle between the two reference waves. When the hologram is restored, the lattice acts on the reference wave as a lens or Fresnel zone plate. Taking into account the unperturbed component of the object wave when recording holograms leads to the appearance of additional components describing the new functional properties of the hologram under consideration.

**Keywords:** object wave, reference wave, coaxial reference wave, Gabor method, Fresnel hologram

Голография Френеля с точки зрения математики – это преобразования Френеля, которые обычно сводятся к двумерным преобразованиям. С точки зрения физики происходит преобразование координат точек одного плоского объекта к координатам другого плоского объекта [1–2]. При расчете распределений световых полей мы имеем дело с трехмерной задачей, которая, в общем случае, описывается интегралом Кирхгофа. Решение такой проблемы даже с использованием численных методов, не говоря уже об аналитическом подходе, задача очень сложная. Поэтому для случая зоны Френеля используют так называемое параксиальное приближение, в котором

предполагается, что размеры рассматриваемых объектов значительно меньше расстояний между ними. В этом случае трехмерная задача сводится к двумерной, для которой можно использовать аппарат преобразования Френеля.

Задача оценки амплитудных и фазовых распределений волны света, который отражается объемным объектом произвольного вида на заданную плоскость фиксации, является трехмерной, и решение ее представляет собой расчет трехмерных интегралов [3–5]. Расчет подобных интегралов – задача в вычислительном отношении очень сложная. Однако существуют естественные ограничения, которые дают возмож-

ность рассматривать трехмерный объект как двумерный. Поверхность объекта разбивается на элементы, каждый из которых можно приблизительно рассматривать как плоскость, а фазовые и амплитудные распределения по поверхности объекта замещаются распределением фаз и амплитуд на плоскости близкой к объекту.

При решении задач, целью которых является формирование изображений, важно уметь правильно передать распределение яркости и относительно крупные шероховатости объекта (т.е. отклонения от гладкости, значения которых сильно превышают длины волн освещающего источника) [6–8]. Указанные проблемы решаются определением распределения модуля отражающего коэффициента вдоль поверхности объекта, который при этом пересчитывается на плоскость, касающуюся объекта и расположенную нормально к линии рассматривания. Также необходимо задать геометрическую форму поверхности, используя которую можно сформировать распределение расстояний от каждой точки поверхности объекта до плоскости касания вдоль линии наблюдения [9–11].

*Объемная голография Френеля  
с использованием двух опорных волн*

На рис. 1 представлена схема записи голограмм на основе бесщелевого метода [12–13]. Схема является обобщенной, так как позволяет записывать по бесщелевому методу как отражающие, так и пропускающие объекты. На рис. 1 показано, что прошедшая сквозь объект или отраженная от него волна представляется, в соответствии с методом Габора, как сумма дифрагированной и недифрагированной составляющих.

Волны  $V_1$  и  $V_2$  освещают соответственно пропускающий и отражающий объекты.

Предложенная схема представляет собой совокупность двух схем записи голограмм: осевой метод Габора и внеосевой метод записи [14].

Рассмотрим подробнее метод Габора. В соответствии с этим методом пропускающий коэффициент прозрачного объекта  $\sigma(x, y)$  и волну  $U(x, y)$ , которая проходит сквозь такой объект, можно рассматривать как одновременное действие двух волн:

$$\sigma(x_0, y_0) = \sigma_0 + \Delta\sigma(x_0, y_0), \quad (1)$$

$$I(x, y) = |\text{Re}xp(-i\lambda) + U_0 \exp[-i(\alpha_0 + \psi)] + U_1 \exp[-i(\alpha_1 + \psi)]|^2 = R^2 + U_0^2 + U_1^2 + 2U_0U_1 \cos(\alpha_1 - \alpha_0) + 2RU_1 \cos(\psi + \gamma - \alpha_1) + 2RU_0 \cos(\psi + \gamma - \alpha_0), \quad (4)$$

где  $\psi = 2\pi\beta x$ ,  $\beta = \sin \theta / \lambda$  – частота в пространственной области,  $\lambda$  – длина световой волны,  $R^2$  и  $U_0^2$  – энергетические характеристики опорного поля и невозмущенной компоненты объектного поля,  $U_1^2$  – световой отпечаток записываемого объекта [15].

$$U(x, y) = U_0 + U_1(x, y) = c_0 \exp(-i\alpha_0) + c_1(x, y) \exp[-i\alpha_1(x, y)], \quad (2)$$

здесь  $\sigma_0$  и  $\Delta\sigma$  соответственно описывают недифрагированную и дифрагированную составляющие коэффициента пропускания;  $c_0$  – амплитуда недифрагированной составляющей волны (когерентный фон), соответствующая  $\sigma_0$ ;  $c_1(x, y)$  – амплитуда дифрагированной составляющей волны, соответствующая диффузной компоненте  $\Delta\sigma(x_0, y_0)$ ;  $\alpha_0$  и  $\alpha_1(x, y)$  – фазы этих волн.

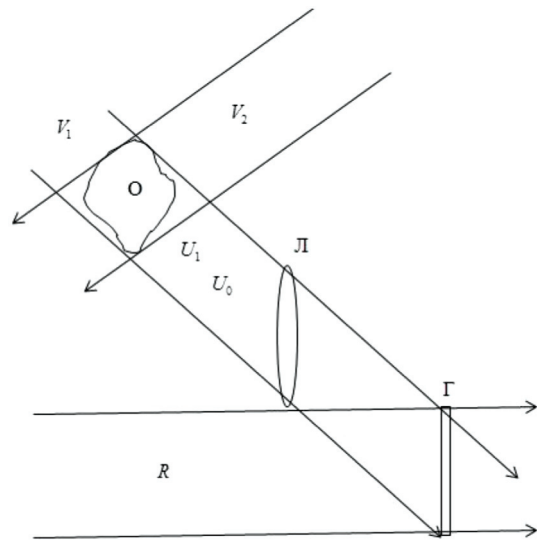


Рис. 1. Запись голограмм пропускающих и отражающих объектов

Для записи голограммы используются три волны:  $R = A \exp(-i\gamma)$  – опорная волна;  $U_0 = c_0 \exp(-i\alpha_0)$  – невозмущенный фон (волна) (действует так же как и опорная волна, но соосная предметной);  $U_1(x, y) = c_1(x, y) \exp[-i\alpha_1(x, y)]$  – объектная волна. Здесь  $A$ ,  $U_0$ ,  $U_1$  – амплитуды,  $\gamma$ ,  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  – фазы этих волн. Г – регистрирующая среда (голограмма), Л – изображающая линза, О – исследуемый объект. Для условия «тени»

$$z_0 \leq (1/5)\delta_{\min}^2 / \lambda, \quad (3)$$

здесь  $z_0$  – удаление объекта от плоскости голограммы,  $\delta_{\min}$  – размер наименьшей неоднородности объекта,  $\lambda$  – длина световой волны. Расчет распределения интенсивности световой волны рядом с голограммой

Введем новые переменные для описания распределения интенсивности световой волны  $I(x, y)$  рядом с плоскостью голограммы в следующем виде:

$$I(x, y) = q_0 + q_1 + q_2 + q_3, \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} q_0 &= R^2 + U_0^2 + U_1^2, \\ q_1 &= K_1 \{ \exp[-i(\alpha_1 - \alpha_0)] + \exp[i(\alpha_1 - \alpha_0)] \} = q_0^- + q_0^+, \\ q_2 &= K_2 \{ \exp[-i(\psi + \gamma - \alpha_1)] + \exp[i(\psi + \gamma - \alpha_1)] \} = q_1^- + q_1^+, \\ q_3 &= K_3 \{ \exp[-i(\psi + \gamma - \alpha_0)] + \exp[i(\psi + \gamma - \alpha_0)] \} = q_2^- + q_2^+, \\ K_1 &= U_0 U_1, K_2 = R U_1, K_3 = R U_0. \end{aligned} \quad (6)$$

Подобная голограмма записывается в среде, осуществляющей фазовую модуляцию (например, галогеносеребряные фотографические слои и др.). Соответствующая обработка фотопластинки в линейном режиме приводит к тому, что пропускание такой голограммы можно выразить посредством экспоненциальных функций, т.е. пропускание является нелинейной функцией по отношению к интенсивности  $I(x, y)$  и его можно представить в виде произведения трех экспоненциальных сомножителей

$$\sigma(x, y) = \exp[iI(x, y)] = \exp(iq_1) \exp(iq_2) \exp(iq_3). \quad (7)$$

Как было сказано ранее, если такую голограмму осветить волной, которая совпадает с исходной опорной волной  $R(k)$ , то за голограммой формируются три световых пучка, соответствующие 0 и  $\pm 1$  порядкам дифракции (рис. 2).

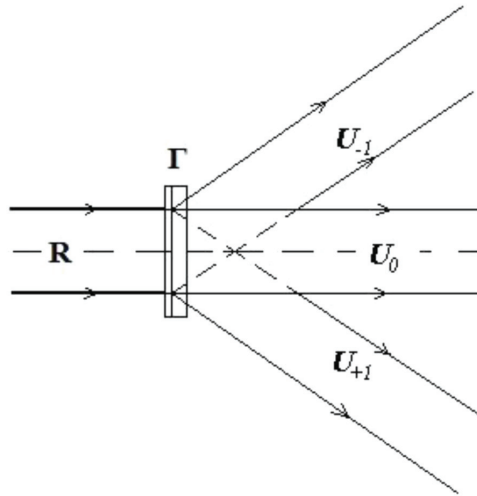


Рис. 2. Восстановление голограммы

$$U = R\sigma(x, y) = U_0 + U_{+1} + U_{-1}. \quad (8)$$

Представим выражения для интенсивностей волны в 0 и  $\pm 1$  порядках дифракции после голограммы в следующем виде:

$$I_0 \approx R^2 [1 - 0,5(q_3^+ q_2^- + q_3^- q_2^+) + 0,25(q_1^+ q_2^- + q_1^- q_2^+ + q_1^+ q_1^+ + q_1^- q_1^-)], \quad (9)$$

$$I_{+1} = 0,25R^2 (q_3^+ q_3^- + q_2^+ q_2^- + q_3^+ q_2^- + q_3^- q_2^+), \quad (10)$$

$$I_{-1} = 0,25R^2 [(q_3^- q_3^+ + q_2^- q_2^+) + (q_3^+ q_2^- + q_3^- q_2^+)]. \quad (11)$$

Если голограмму освещать когерентным светом, то в выражениях 9–11 каждая из компонент имеет следующий смысл:  $q_1^+ q_2^-$  и  $q_1^- q_2^+$  – показывают, что в нулевом порядке присутствуют два изображения – действительное и мнимое;  $q_2^+ q_2^-$  и  $q_2^- q_2^+$  – в +1 порядке присутствует действительное изображение, а в –1 порядке – мнимое изображение;  $q_3^+ q_2^-$  и  $q_3^- q_2^+$  – проекции действительных и мнимых изображений во всех трех порядках дифракции;  $q_3^- q_3^+$  – невозмущенный фон. Также в (9) присутствуют слагаемые  $q_1^+ q_1^+$  и  $q_1^- q_1^-$ , которые описывают искаженное действительное и мнимое изображения, фазовые множители которых удвоены. При использовании белого света для восстановления, вышерассмотренные компоненты описывают:  $q_3^+ q_3^-$  – световой спектр, возникающий из-за действия голографической решетки;  $q_2^+ q_2^-$  – изображения объекта в действительной и мнимой областях, имеющие радужную окраску;  $q_3^+ q_2^-$  и  $q_3^- q_2^+$  – сфокусированные изображения исходного объекта.

### Выводы

Предложена многолучевая модель записи голограмм Френеля для объемных объектов. С этой целью разработан способ перехода от трехмерного объекта к двумерному. В основе метода лежат принципы геометрической оптики, позволяющие произвести пересчет характеристик трехмерного объекта на плоскость, расположенную как можно ближе к объекту. Таким образом трехмерная задача расчета световых полей вблизи плоскости голограммы сводится к двумерной, что позволяет воспользоваться преобразованиями Френеля при расчетах.

Показано, что световая волна от объекта может быть рассмотрена как сумма двух волн: волна не испытывавшая возмущений, а значит, ее можно использовать как опорную волну, и возмущенная объектом волна, которая несет информацию об объекте. Волна от объекта – это классическая объектная волна, а невозмущенная составляющая действует как вторая опорная волна, соосная объектной волне, помимо основной, падающей под углом к объектной волне. Такой подход позволяет рассматривать записанную голограмму как сочетание двух голограмм – осевой (голограмма Габора) и внеосевой (голограмма Лейта).

Учет невозмущенной составляющей объектной волны при записи голограмм приводит к возникновению дополнительных компонентов, описывающих новые функциональные свойства рассмотренной голограммы.

### Список литературы

1. Yaroslavsky L., Astola J. Introduction to Digital Holography. V. 1. Bentham E-book Series: Digital Signal Processing in Experimental Research». 2009. DOI: 10.2174/97816080507961090101.
2. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесщелевой радужной голографии // Вестник КГУСТА. 2015. № 4 (40). С. 194–198.
3. Исманов Ю.Х., Джаманкызов Н.К., Тынышова Т.Д., Алымкулов С.А. Восстановление бесщелевой радужной голограммы когерентной волной // Материалы VII Международной конференции по фотонике и информационной оптике: сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2018. С. 596–597.
4. Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Алымкулов С.А. Использование приближения Френеля для расчета распределения светового поля, прошедшего сквозь решетку // Вестник КГУСТА им. Н. Исанова. 2017. № 3 (57). С. 171–178.
5. Nehmetallah G., Banerjee P.P. Applications of digital and analog holography in three-dimensional imaging. Advances in Optics and Photonics. 2012. Vol. 4. Issue 4. P. 472–553. DOI: 10.1364/AOP.4.000472.
6. Kim Myung-K. Applications of Digital Holography in Biomedical Microscopy. Journal of the Optical Society of Korea. 2010. Vol. 14. Issue 2. P. 77–89.
7. Picart P., Leval J. General theoretical formulation of image formation in digital Fresnel holography. Journal of the Optical Society of America A. 2008. Vol. 25. Issue 7. P. 1744–1761. DOI: 10.1364/JOSAA.25.001744.
8. Xue K., Yun-Da Q.L., Wang Q. Continuous-wave terahertz in-line digital holography. Optics Letters. 2012. Vol. 37. Issue 15. P. 3228–3230. DOI: 10.1364/OL.37.003228.
9. Cho Hyung-Jun, Kim Doo-Cheol, Yu Young-Hun, Shin Sanghoon, and Jung Wongi Tilt Aberration Compensation Using Interference Patterns in Digital Holography. Journal of the Optical Society of Korea. 2009. Vol. 13. Issue 4. P. 451–455.
10. Jiang Z., Veetil S.P., Cheng J., Cheng L., Wang L., Zhu J. High-resolution digital holography with the aid of coherent diffraction imaging. Optics Express. 2015. Vol. 23. Issue 16. P. 20916–20925. DOI: 10.1364/OE.23.020916.
11. Wang Z., Jiang Z., Chen Y. Single-shot dual-wavelength phase reconstruction in off-axis digital holography with polarization-multiplexing transmission. Applied Optics. 2016. Vol. 55. Issue 22. P. 6072–6078. DOI: 10.1364/AO.55.006072.
12. Ismanov Y., Maripov A. Holographic Talbot Interferometer. Holography 2000, Vienna. Proceedings of SPIE. 2000. V. 4149. P. 213–220. DOI: 10.1117/12.402479.
13. Maripov A., Ismanov Y., Omyrzakov K. Four-channel wide-range holographic interferometer. Proceedings of SPIE (Munich). 2003. V. 5144. P. 606–610. DOI: 10.1117/12.501342.
14. Zhao J., Jiang H., Di J. Recording and reconstruction of a color holographic image by using digital lensless Fourier transform holography. Optics Express. 2008. Vol. 16. Issue 4. P. 2514–2519. DOI: 10.1364/OE.16.002514.
15. Feng P., Wen X., Lu R. Long-working-distance synthetic aperture Fresnel off-axis digital holography. Optics Express. 2009. Vol. 17. Issue 7. P. 5473–5480. DOI: 10.1364/OE.17.005473.



СТАТЬИ

УДК 547.537:551.521

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА СМЕСИ УГЛЕВОДОРОДОВ ГЕКСАН-ГЕКСЕН**

**<sup>1</sup>Джаббарова Л.Ю., <sup>1</sup>Акберов Р.Я., <sup>1</sup>Мустафаев И.И., <sup>1</sup>Меликова С.З., <sup>2</sup>Ахмедова Т.Н.**

*<sup>1</sup>Институт радиационных проблем НАН Азербайджана, Баку, e-mail: Clala@mail.ru;*

*<sup>2</sup>Институт нефтехимических процессов, Баку*

В работе исследовалось влияние ионизирующего излучения на смеси гексан-гексена. Лабораторные исследования проводились на гамма-источнике <sup>60</sup>Co при мощности дозы P = 0,10 Гр/с в интервалах поглощенных доз D = 34–103 кГр. Исследовалось воздействие ионизирующего излучения на структурно-групповой состав смеси гексан-гексена в статических условиях. Были определены плотность, вязкость, йодные числа смесей гексан-гексена до и после облучения при различных поглощенных дозах. Основной причиной малой стабильности в углеводородных топливах является наличие олефиновых соединений. Изучение радиолитических смесей насыщенных и ненасыщенных углеводородов при различных концентрациях дает возможность делать выводы о характере основных радиационно-химических процессов. В топливах, содержащих большое количество ненасыщенных углеводородов, в процессе облучения увеличивается коксующесть и ухудшается цвет. Процессы, возникшие в связи с радиолитизмом, еще долго развиваются после прекращения облучения, что может привести к изменению состава топлива. Структурирование физически проявляется в органических жидкостях в изменении вязкости и плотности. Количество разложившегося углеводорода увеличивается с увеличением суммарной дозы облучения. В результате этого при температуре окружающего воздуха эксплуатационные свойства нефтяных топлив ухудшаются. Связь между химическим составом топлива и его стабильностью еще недостаточно хорошо изучена. Эти эксперименты продолжаются с целью изучения влияния ионизирующего излучения на изменения физико-химических свойств углеводородов нефти.

**Ключевые слова:** радиолитиз, йодные числа, гексан, гексен

**HEXANE-HEXENE HYDROCARBONS MIXTURE RESEARCH  
UNDER THE INFLUENCE OF RADIATION**

**<sup>1</sup>Dzhabbarova L.Yu., <sup>1</sup>Akberov R.Ya., <sup>1</sup>Mustafaev I.I., <sup>1</sup>Melikova S.Z., <sup>2</sup>Akhmedova T.N.**

*<sup>1</sup>Institute of Radiation Problems of NAN of Azerbaijan, Baku, e-mail: Clala@mail.ru;*

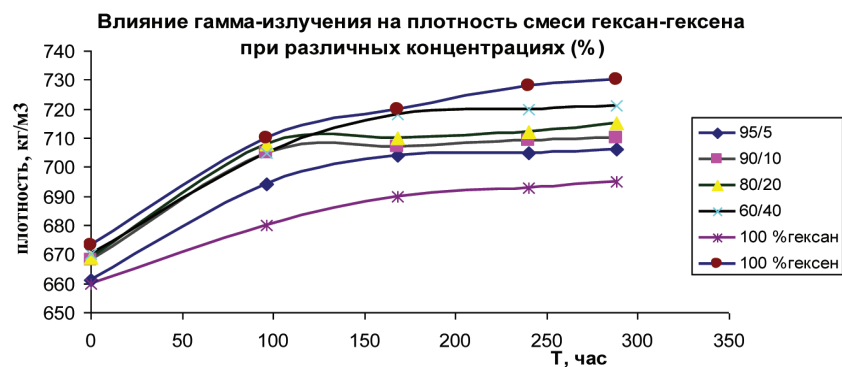
*<sup>2</sup>Institute of Petrochemical Processes, Baku*

In research work was investigated impact of the ionizing radiation on hexane-hexene mixture. Laboratory studies were carried out on a gamma source of <sup>60</sup>Co at a dose power P = 0.10 Gy/s in the intervals of absorbed doses of D = 34-103 kGy. In static conditions it was also investigated impact of the ionizing radiation on the structural group composition of the hexane-hexene mixture. The density, viscosity, iodine numbers of hexane-hexene mixtures were determined before and after irradiation at various absorbed doses. The main reason of hydrocarbon fuels low stability is the presence of olefinic compounds. The study of the radiolysis of saturated and unsaturated hydrocarbons mixtures at various concentrations makes it possible to draw conclusions about the nature of the main radiation-chemical processes. In fuels containing a large amount of unsaturated hydrocarbons, in the irradiation process, coking behavior increases and color deteriorates. The processes that have arisen in connection with radiolysis continue for a long time after the cessation of irradiation, which can lead to a change in the composition of the fuel. Structuring is physically manifested in organic liquids in changes of viscosity and density. The amount of decomposed hydrocarbon increases with increasing total radiation dose. As a result, at ambient temperature, the performance properties of petroleum fuels deteriorate. The relationship between the chemical composition of the fuel and its stability is not well understood. These experiments continue to study the effect of ionizing radiation on changes in the physico-chemical properties of petroleum hydrocarbons.

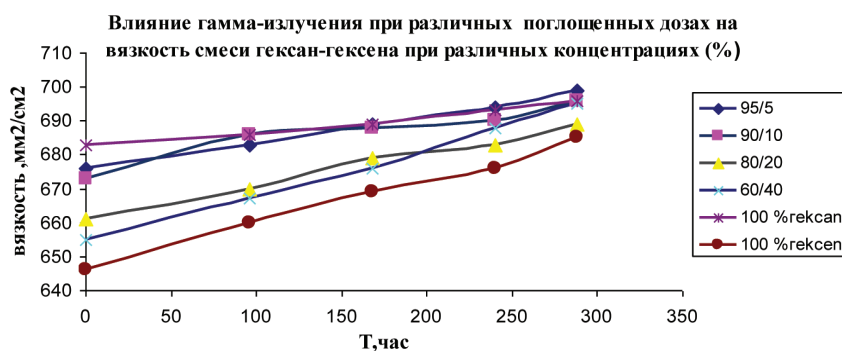
**Keywords:** radiolysis, iodine numbers, hexane, hexene

Органические топлива и смазки в условиях радиационного излучения должны сохранять свои химические и физические свойства. Изменения, происходящие в момент облучения, могут иметь обратимый или необратимый характер. Обратимые эффекты зависят от мощности дозы. Необратимые изменения свойств материалов зависят от поглощенной дозы, температуры и сохраняются после облучения, вызывая химические превращения молекул. При воздействии радиационного излучения на органические топлива происходит радиа-

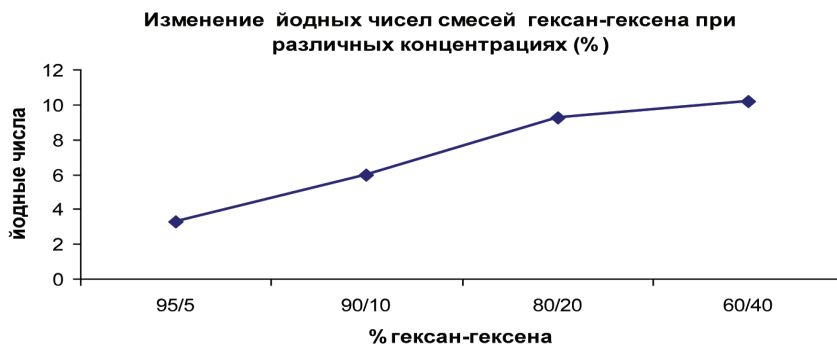
ционное окисление, в результате чего изменяется химическая стойкость органических материалов. Радиолитиз различных углеводородных топлив был представлен ранее в работах [1, 2]. Цель данной работы – исследование влияния ионизирующего излучения на смеси углеводородов гексан-гексен. Изучение радиолитических смесей насыщенных и ненасыщенных углеводородов при различных концентрациях дает возможность делать выводы о характере радиационно-химических процессов в органических топливах.



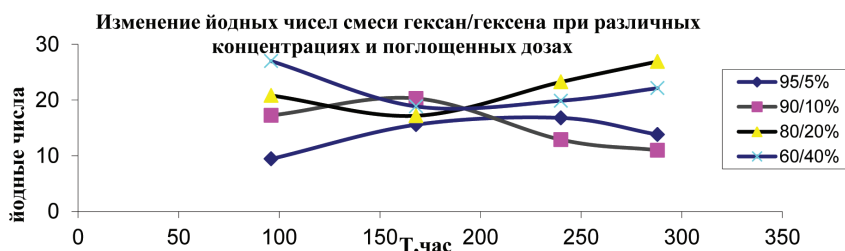
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Влияние гамма-излучения на плотность (а), вязкость (б) и йодные числа исходных (в), облученных (г) образцов смесей гексан-гексена при различных концентрациях (%) и интервалах поглощенных дозах

### Материалы и методы исследования

Образцы смесей углеводородов (гексан-гексен) с различными концентрациями (5, 10, 20, 40%) в колбах облучали при комнатной температуре на гамма-источнике  $Co^{60}$  при мощности дозы  $P = 0,10$  Гр/с в пределах поглощенных доз: 34–103 кГр. Было исследовано влияние поглощенной дозы излучения на изменение свойств смесей. ИК-спектры поглощения образцов в виде пленок толщиной  $d = 1$  зарегистрированы на спектрометре Varian 640-IR (Varian) в диапазоне частот 4000–400  $cm^{-1}$ . Отнесение полос проведено, как в [3]. Вязкость определяли по ГОСТ 33-66 вискозиметрами типа ВПЖ-2, соответствующие ГОСТ 10028-81. Йодные числа определялись на спектрометре BRUKER MPA. Плотность определяли пикнометрами по ГОСТ 3900-85.

### Результаты исследования и их обсуждение

Структурирование физически проявляется в органических жидкостях в изменении вязкости и плотности. На рис. 1, а–г, представлено влияние гамма-излучения на

плотность (а), вязкость (б) и йодные числа исходных (в), облученных (г) образцов смесей гексан-гексен при различных концентрациях (%) и интервалах поглощенных доз. Вязкость изменяется тем сильнее, чем больше поглощенная доза ионизирующего излучения. Если вязкость выше допустимых пределов, работа оборудования подачи топлива будет нарушена. Плотность косвенно характеризует химические свойства топлива, фракционный состав и испаряемость. Йодное число, как показатель наличия в топливах непредельных углеводородов, обуславливающих химическую нестойкость этих продуктов.

На рис. 2–5 приведены ИК-спектры облученных и исходных смесей гексан-гексена при различных концентрациях.

Внеплоскостные деформационные колебания С-Н группы в области 1000–650  $cm^{-1}$ . Плоскостные деформационные колебания С-Н группы в области 1225–950  $cm^{-1}$ , 2880–2650 (1380–1370), 1465–1440 (2975–2950)  $cm^{-1}$  – колебания связей С-Н в алканах; 2260–2190 – поглощение в алкинах. 3400–3200  $cm^{-1}$  внутри и межмолекулярные Н-связи в димерах и полимерах.

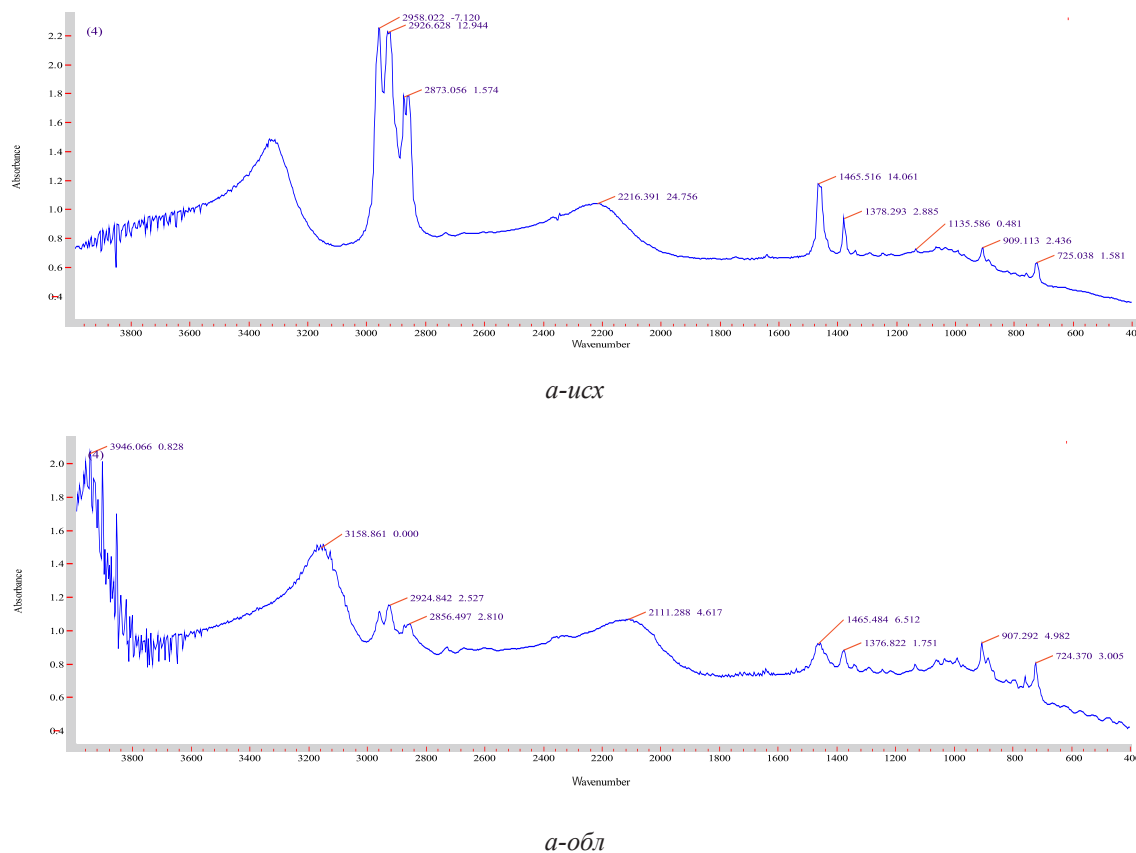


Рис. 2. ИК-спектры исходных (а-исх) и облученных (а-обл) (95% н-гексан + 5% гексен) смесей гексан-гексена (240 ч облучения)

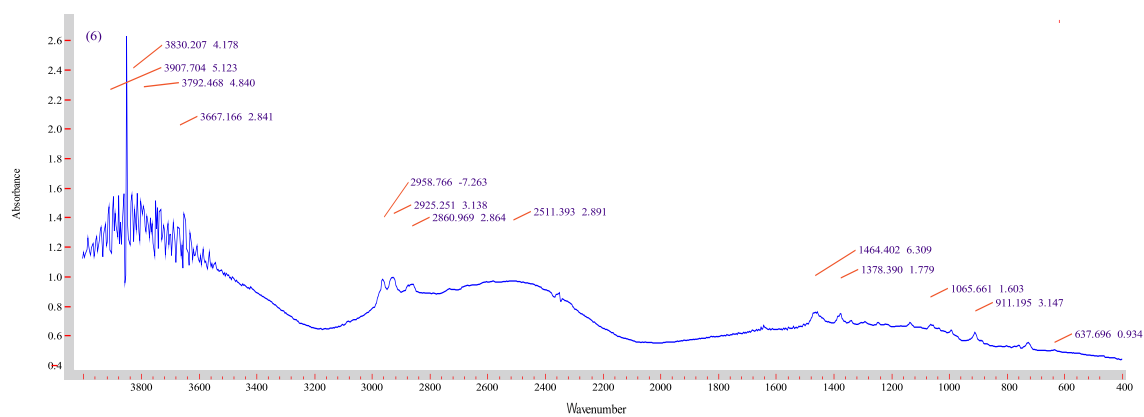
Наблюдаются характеристические внеплоскостные деформационные колебания С-Н группы в области 1000–650  $\text{см}^{-1}$ . После радиационного облучения интенсивность полос (2860–2960) ( $2975\text{--}2950$ )  $\text{см}^{-1}$  – валентные колебания  $\text{CH}_3$  уменьшаются вдвое. Интенсивность полос 1465–1440  $\text{см}^{-1}$  – колебаний связей С-Н в алканах, 1380–1370  $\text{см}^{-1}$  – деформационные колебания  $-\text{CH}_3$  гр. полос также уменьшается. 3175–3070  $\text{см}^{-1}$  – валентные колебания N-H. 2140–2100  $\text{см}^{-1}$  – алкины и тройные связи.

Внеплоскостные деформационные колебания С-Н группы в области 1000–650  $\text{см}^{-1}$ . 1065  $\text{см}^{-1}$  – плоскостные деформационные колебания С-Н группы в области 1225–950  $\text{см}^{-1}$ ; 1380–1370, 1465–1440  $\text{см}^{-1}$  – (2975–2950)  $\text{см}^{-1}$  – 2880–2650  $\text{см}^{-1}$  – колебания связей С-Н в алканах.

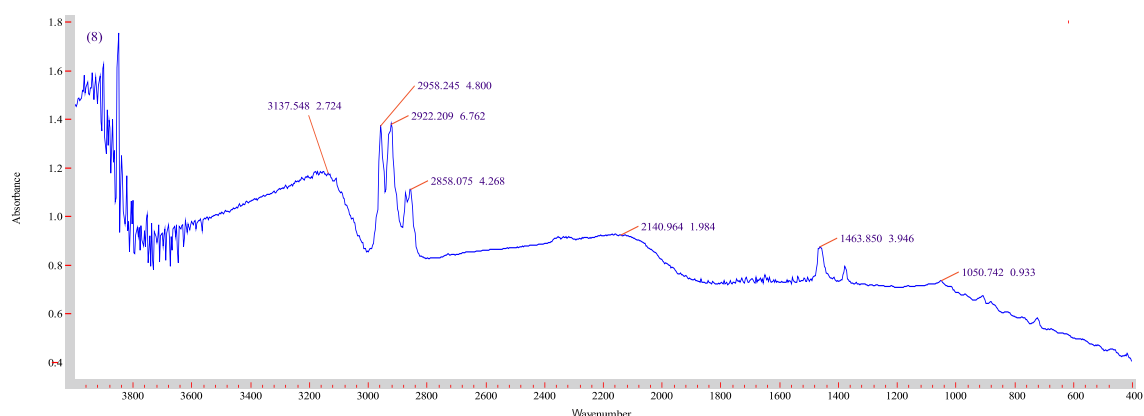
1065  $\text{см}^{-1}$  – плоскостные деформационные колебания С-Н группы в области

1225–950  $\text{см}^{-1}$ . Характеристические полосы поглощения (1465–1440)  $\text{см}^{-1}$  (2940–2915), (2975–2950)  $\text{см}^{-1}$  – колебания связей С-Н в алканах. (2860–2960)  $\text{см}^{-1}$  – валентные колебания  $\text{CH}_3$ . При поглощенной дозе 240 ч 10% смеси появляются полосы поглощения (3175–3070)  $\text{см}^{-1}$  – валентных колебаний N-H, а также 2140–1990  $\text{см}^{-1}$  – алкины и тройные связи.

Внеплоскостные деформационные колебания С-Н группы в области 1000–650  $\text{см}^{-1}$ . Характеристические полосы поглощения, плоскостные деформационные колебания С-Н группы в области 1225–950  $\text{см}^{-1}$ ; 1380–1370  $\text{см}^{-1}$  – деформационные колебания  $-\text{CH}_3$  гр. Наблюдаются 1645–1640-валентные колебания С=C в алкенах; 2880–2860  $\text{см}^{-1}$ . 2975–2950  $\text{см}^{-1}$ ; 3080–3030  $\text{см}^{-1}$  – колебания связей С-Н в алканах. 2235–2215  $\text{см}^{-1}$  – непредельные нитрилы  $\text{C}\equiv\text{N}$ . 3400–3200  $\text{см}^{-1}$  – внутри- и межмолекулярные Н-связи в димерах и полимерах.



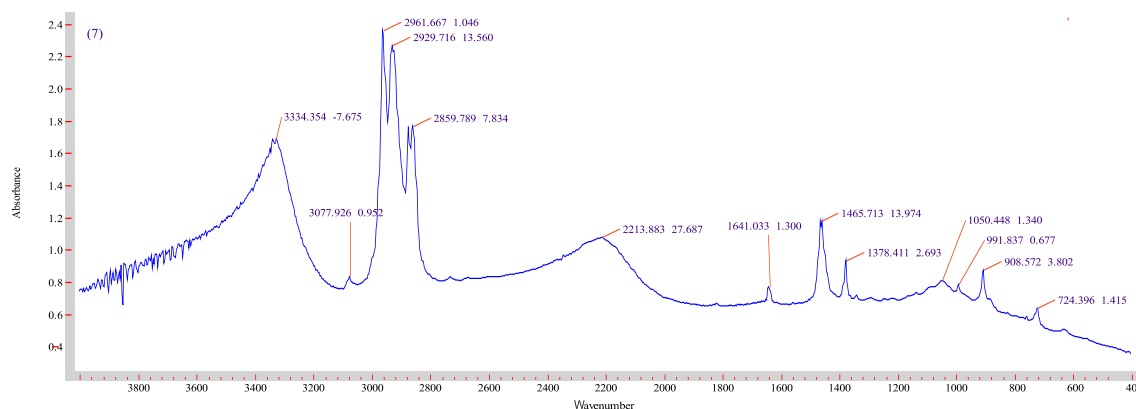
б-исх



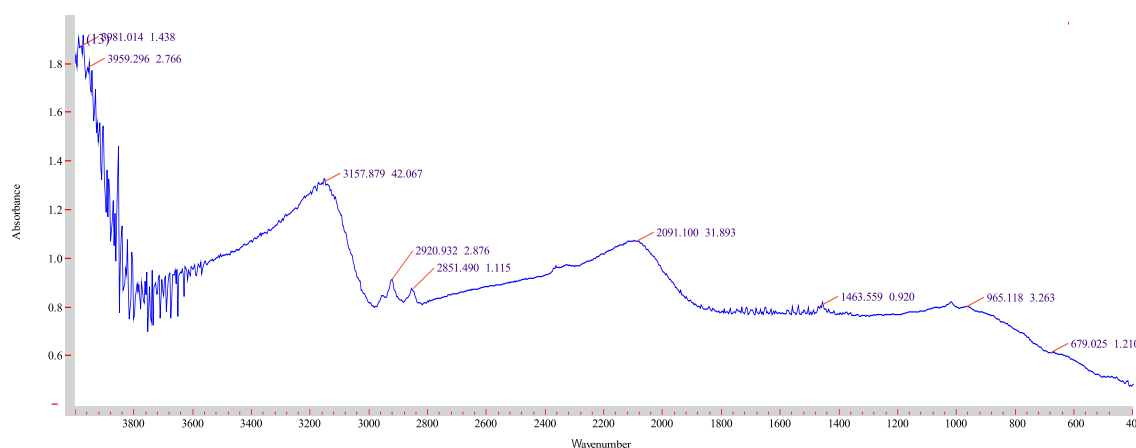
б-обл

Рис. 3. ИК-спектры исходных (б-исх) и облученных (б-обл) (90% n-гексан + 10% гексен) смесей гексан-гексен (240 ч облучения)





*c-исх*



*c-обл*

Рис. 4. ИК-спектры исходных (*c-исх*) и облученных (*c-обл*) (80%н-гексан + 20% гексен) смесей гексан-гексен (240 ч облучения)

Внеплоскостные деформационные колебания С-Н группы в области 1000–650  $\text{см}^{-1}$ . После облучения 240 ч – (20% смеси гексан-гексен) значительно уменьшаются полоса поглощения 1465–1440  $\text{см}^{-1}$ ; 2940–2915; 2975–2950  $\text{см}^{-1}$  – 2860–2960  $\text{см}^{-1}$  – валентных колебаний  $\text{CH}_3$ . Появляются после облучения 3175–3070  $\text{см}^{-1}$  – валентные колебания N-H связей, а также полоса поглощения 2140–2080  $\text{см}^{-1}$  – аминокислот.

Внеплоскостные деформационные колебания С-Н группы в области 1000–650  $\text{см}^{-1}$ . 1380–1370  $\text{см}^{-1}$  – деформационные колебания  $-\text{CH}_2$  гр. 1470–1435; 2975–2950  $\text{см}^{-1}$ ; 3080–3030  $\text{см}^{-1}$  колебания связей С-Н в алканах. 1641; 1800–1850  $\text{см}^{-1}$  – деформационные колебания связей С-Н в алкенах и типы замещения при двойных связях.

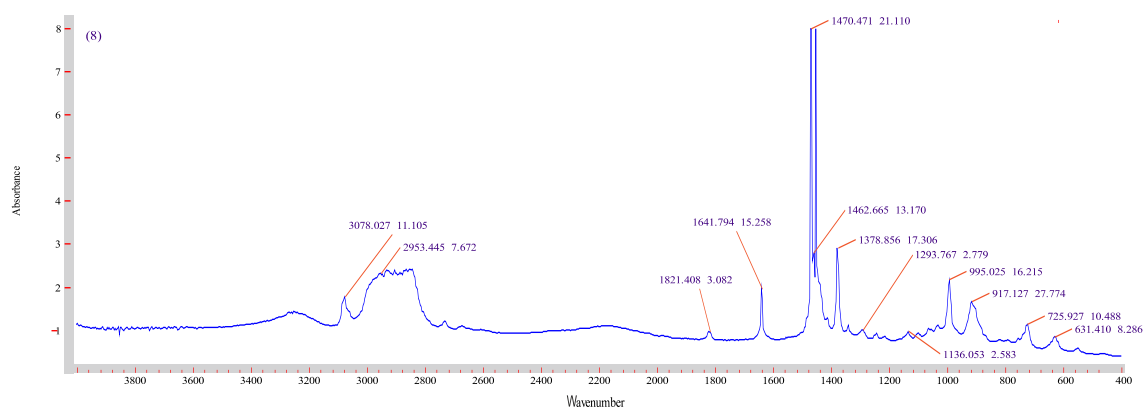
После радиационного облучения смеси гексан-гексен (5%) интенсивность полос (2860–2960) (2975–2950)  $\text{см}^{-1}$  – валентные колебания  $\text{CH}_3$  уменьшаются вдвое. При по-

глощенной дозе 240 ч 10% смеси появляются полосы поглощения (3175–3070)  $\text{см}^{-1}$  – валентных колебаний N-H, а также 2140–1990  $\text{см}^{-1}$  – алкины и тройные связи. После облучения 240 ч – 20% смеси гексан-гексен значительно уменьшаются полоса поглощения 1465–1440  $\text{см}^{-1}$ ; 2940–2915; 2975–2950  $\text{см}^{-1}$  – 2860–2960  $\text{см}^{-1}$  – валентных колебаний  $\text{CH}_3$ . После облучения 240 ч 40% смеси гексан-гексен в 8 раз уменьшаются полоса поглощения 1470–1435  $\text{см}^{-1}$  в алканах. 1380–1370  $\text{см}^{-1}$  – деформационные колебания  $-\text{CH}_2$  гр и (2940–2915), (2975–2950)  $\text{см}^{-1}$  – колебания связей С-Н в алканах уменьшаются более двух раз. Полоса 1645–1640  $\text{см}^{-1}$  – валентных колебаний связей С=C в алкенах также значительно уменьшается. 2860–2960  $\text{см}^{-1}$  – валентные колебания  $\text{CH}_3$ . Появляются при облучении 240 ч 2230–2220  $\text{см}^{-1}$  – алкины и тройные связи. 1645–1640 – валентные колебания С=C в алкенах уменьшаются,

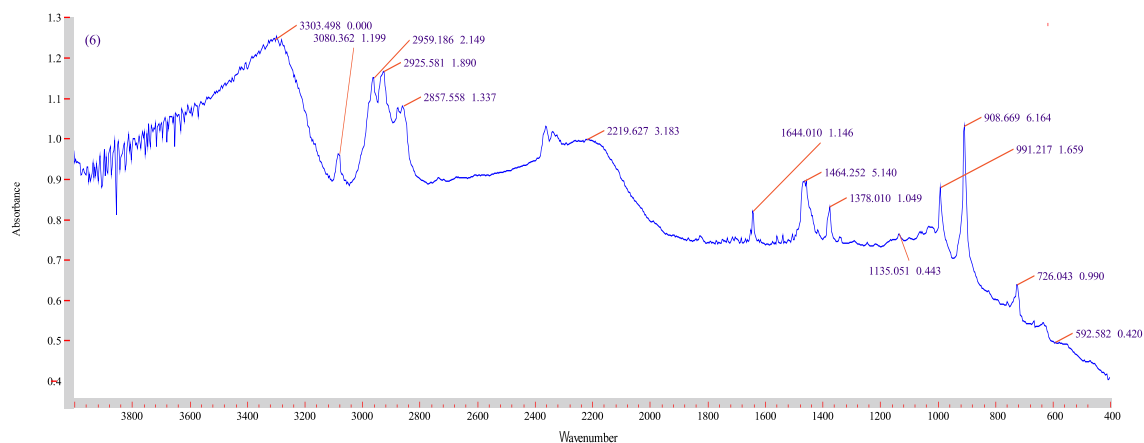
а 1800–1850  $\text{cm}^{-1}$  – деформационные колебания связей С-Н в алкенах и типы замещения при двойных связях исчезают. Уменьшаются полоса поглощения (3175–3070), 3220–3180  $\text{cm}^{-1}$  – валентные колебания N-H. Появляется полоса 3303  $\text{cm}^{-1}$  – колебания гидроксильной группы и С-О связей.

Изучение радиолитической смеси углеводородов дает возможность сделать выводы о характере основных радиационно-химических процессов, их скорости и образующихся продуктов. При радиолитическом разложении предельных углеводородов происходит дегидрирование, легко разрываются вторичные и третичные связи С-С. А облучение ненасыщенных углеводородов приводит к реакциям присоединения и полимеризации. Увеличивается выход продуктов полимеризации. Воздействие ионизирующего излучения сопровождается изменением физических свойств топлив. Под действием радиоактивных излучений продуктов

происходит одновременно полимеризация и их расщепление. Расщепление происходит всегда, поскольку при радиолитическом разложении всех органических веществ выделяется газ. При радиолитическом разложении насыщенных углеводородов выходы некоторых продуктов не зависят от дозы, тогда как выходы других продуктов могут увеличиваться или уменьшаться при увеличении дозы. Это происходит из-за протекания вторичных реакций ненасыщенных углеводородов, накапливающихся при облучении. Иодное число, как показатель наличия в топливах непредельных углеводородов, обуславливающих химическую нестойкость этих продуктов. Их испарение в атмосферу как химически активных веществ способствует образованию озона, а их продукты горения образуют токсичные диены. В топливах, содержащих большое количество непредельных углеводородов, в процессе хранения несколько увеличивается коксуемость и ухудшается цвет.



d-исх



d-обл

Рис. 5. ИК-спектры исходных (d-исх) и облученных (d-обл) (60%н-гексан + 40% гексен) смесей гексан-гексен (240 ч облучения)

Одной из важных характеристик топлива является вязкость и плотность, которые косвенно характеризуют химические свойства топлива, фракционный состав и испаряемость. Они изменяются тем сильнее, чем больше поглощенная доза излучения. Количество разложившегося углеводорода увеличивается с увеличением суммарной дозы облучения. К настоящему времени опубликовано большое количество работ, посвященных изучению действия ионизирующих излучений на различные углеводороды, нефтепродукты [4-6], что позволило установить общие закономерности радиолитического разложения органических материалов.

### Выводы

В условиях наших экспериментов при облучении смесей углеводородов (гексан-гексена) с различными концентрациями (5, 10, 20, 40%) на гамма-источнике  $Co^{60}$  при мощности дозы  $P = 0,10$  Гр/с в пределах поглощенных доз  $D = 34-103$  кГр при комнатной температуре увеличивается вязкость, плотность, изменяются йодные числа. После радиационного облучения смеси гексан-гексена (5%) интенсивность полос (2860–2960) (2975–2950)  $cm^{-1}$  – валентные колебания  $CH_3$  уменьшаются вдвое. При поглощенной дозе 240 ч 10% смеси по-

являются 2140–1990  $cm^{-1}$  – тройные связи. После облучения 240 ч 40% смеси гексан-гексен в 8 раз уменьшается полоса поглощения 1470–1435  $cm^{-1}$  в алканах. Процессы, возникшие после радиолитического разложения, еще долго развиваются после прекращения облучения, что приводит к изменению состава топлива. В результате облучения среди продуктов увеличивается количество ненасыщенных углеводородов и в процессе хранения несколько увеличивается коксуемость и ухудшается цвет.

### Список литературы

1. Джаббарова Л.Ю., Мустафаев И.И. Высокотемпературный радиолитический разложение дизельного топлива // Прикладная спектроскопия. 2018. Т. 85. № 4. С. 634–638.
2. Jabbarova L.Y., Mustafayev I.I. Researches of Impact of Ionizing Radiation on Some Characteristics of Diesel Fuel. J. Energy, Envir. Chem. Eng. USA. 2017. № 4 (2). P. 41–45.
3. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений / Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 210 с.
4. Ибадов Н.А., Сулейманов Б.А., Гурбанов М.А., Абдуллаев Э.Т., Аббасова Д.Р. Радиолитическое разложение полиароматических углеводородов // Энергетика и экология. 2009. № 5 (73). С. 22–26.
5. Пономарев А.В., Цивадзе А.Ю. Преобразование газообразных алканов в жидкие при электронном облучении // Докл. Академии наук. 2006. Т. 411. № 5. С. 652–658.
6. Ponomarev A.V., Holodkova E.M., Ershov B.G. Electron-beam synthesis of fuel in the gas phase. Radiation Physics and Chemistry. 2012. V 81. I. 9. P. 1440–1444.