

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

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL
OF APPLIED AND
FUNDAMENTAL RESEARCH**

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

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,570

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,277

№ 3 2020

Научный журнал
Scientific journal

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

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

к.м.н. Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь

к.м.н. М.Н. Бизенкова

EDITOR

Natalia Stukova

Senior Director and Publisher

Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

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

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,570.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,277.

Учредитель, издательство и редакция:

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

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

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

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Л.М. Байгузова

Корректор Е.С. Галенкина

Подписано в печать 27.03.2020

Дата выхода номера 27.04.2020

Формат 60х90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

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

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 15,13

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2020/3

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ПОЛУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ АТТЕНУИРОВАННОГО <i>AroA</i> МУТАНТНОГО ШТАММА <i>PASTEURELLA MULTOCIDA</i> <i>Далбаев Н.К., Кайсенов Д.Н., Султанкулова К.Т., Тайлакова Э.Т., Червякова О.В., Алиева А.Б., Абсатова Ж.С., Баракбаев К.Б.</i>	7
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МАССОВОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ <i>AZOLLA CAROLINIANA</i> В УСЛОВИЯХ ЮГА КЫРГЫЗСТАНА <i>Раимбеков К.Т.</i>	12
ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫСЛА, ВОЗРАСТНЫЕ И РАЗМЕРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СКОПЛЕНИЙ ТИХООКЕАНСКОЙ СЕЛЬДИ (<i>CLUPEA PALLASII</i>) В МАРТЕ-АПРЕЛЕ 2012–2019 ГГ. В ЗАПАДНО-КАМЧАТСКОЙ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДЗОНЕ ОХОТСКОГО МОРЯ <i>Смирнов А.А., Семенов Ю.К., Елатинцева Ю.А., Ткаченко А.А., Горбачев В.В.</i>	18
ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ УЧАЩИХСЯ ШКОЛ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ С РАЗНОЙ ФОРМОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ <i>Ураимова А.А., Касымов О.Т.</i>	22

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

РИСКИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СЕВЕРЕ (АРКТИКЕ) <i>Ткачев Б.П., Кунин С.А.</i>	29
--	----

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИММУНОФЕНОТИПИРОВАНИЯ И ЧАСТОТА РАСПРОСТРАНЕННОСТИ У БОЛЬНЫХ ДЕТЕЙ ОСТРОГО МИЕЛОИДНОГО ЛЕЙКОЗА <i>Баратова Д.А., Маматысаева У.А., Мадемилова Ч.М.</i>	34
ОСОБЕННОСТИ АУТОКОСТНОЙ ПЛАСТИКИ РАСЩЕЛИНЫ АЛЬВЕОЛЯРНОГО ОТРОСТКА ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ У БОЛЬНЫХ С ВРОЖДЕННОЙ ЗУБОЧЕЛЮСТНОЙ АНОМАЛИЕЙ <i>Ешиев Д.А., Ешиев А.М.</i>	40
ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ ПО ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ <i>Исмаилов У.Ш., Зурдинов А.З.</i>	45
ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ ВЫЯВЛЯЕМОСТИ АКУШЕРСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ У БЕРЕМЕННЫХ С ОЖИРЕНИЕМ <i>Маркелова А.Н., Амри М.С.</i>	50

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ТЕРМОДИНАМИКА СИСТЕМЫ Cu-Me-Fe-S-CH_4 (Me-Pb, ZN, AS) <i>Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е., Аргын А.А., Кашаган А.Д.</i>	55
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ <i>Еланцев В.В.</i>	61

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ XXXII ЛЕТНИХ ОЛИМПИЙСКИХ ИГР 2020
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Крутиков А.К., Клюкин В.Л., Подковырин В.Д. 70

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ОБОГАТИМОСТИ
МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОВ ЖЕЗДИНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Мустахимов А.Т., Зейнуллин А.А., Мусин М.Т. 75

ОБЗОРЫ

ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Шишакина О.А., Паламарчук А.А. 83

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

АСИМПТОТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ СИНГУЛЯРНО-ВОЗМУЩЕННОЙ ЗАДАЧИ
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Иманалиев З.К., Аширбаев Б.Ы. 89

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, РАБОТАЮЩЕЙ
ПРИ НЕКОГЕРЕНТНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Абдулаев А.А. 98

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ БАЗИСОВ
ЕВКЛИДОВЫХ И ГИЛЬБЕРТОВЫХ ПРОСТРАНСТВ

Пеньков В.Б., Левина Л.В. 103

ВЛИЯНИЕ РАССЕЯНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ
ПОГЛОЩЕНИЯ В МЕТОДЕ «ТЕПЛОВОЙ ЛИНЗЫ»

Петропавловский В.М. 108

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

РАСЧЕТ ЭНТАЛЬПИЙ СГОРАНИЯ АМИНОКИСЛОТ И АЗОТИСТЫХ ОСНОВАНИЙ
ПО ИХ ЭЛЕМЕНТНОМУ СОСТАВУ И СТРУКТУРЕ

Саралов А.И. 113

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLES

- OBTAINING A GENETIC ATTENUATED AroA MUTANT STRAIN *PASTEURELLA MULTOCIDA*
Dalbaev N.K., Kaysenov D.N., Sultankulova K.T., Taylakova E.T.,
Chervyakova O.V., Alieva A.B., Absatova Zh.S., Barakbaev K.B. 7
- DEVELOPMENT OF METHODS FOR MASS CULTIVATION
 OF *AZOLLA CAROLINIANA* IN SOUTHERN KYRGYZSTAN
Raimbekov K.T. 12
- FEATURES OF THE FISHING, AGE AND DIMENSIONAL INDICATORS OF CLUSTERS
 OF THE PACIFIC HERRING (*CLUPEA PALLASII*) IN MARCH-APRIL 2012–2019
 IN THE WEST-KAMCHATKA SEA FISHING SUBZONE OF THE SEA OF OKHOTSK
Smirnov A.A., Semenov Yu.K., Elatintseva Yu.A., Tkachenko A.A., Gorbachev V.V. 18
- ASSESSMENT OF PHYSICAL DEVELOPMENT OF RURAL SCHOOL STUDENTS
 WITH DIFFERENT FORMS OF PUBLIC FOOD SERVICE
Uraimova A.A., Kasymov O.T. 22

GEOGRAPHICAL SCIENCES

ARTICLES

- RISKS OF GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN THE NORTH (ARCTIC)
Tkachev B.P., Kunin S.A. 29

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

- DIAGNOSTIC INDICATORS IMMUNOPHENOTYPING AND FREQUENCY
 THE PREVALENCE IN PATIENTS CHILDREN ACUTE MYELOID LEUKEMIA
Baratova D.A., Mamatysaeva U.A., Mademilova Ch.M. 34
- FEATURES OF AUTOBONEPLASTICS OF THE ALVEOLAR BONE CLEFT OF THE UPPER
 JAW IN PATIENTS WITH CONGENITAL DENTAL MAXILLOFACIAL ANOMALY
Eshiev D.A., Eshiev A.M. 40
- EPIDEMIOLOGICAL SITUATION OF DIABETES MELLITUS IN THE KYRGYZ REPUBLIC
Ismailov U.Sh., Zurdinov A.Z. 45
- EVALUATION OF THE FREQUENCY OF DETECTABILITY OF OBSTETRIC
 COMPLICATIONS IN PREGNANT WOMEN WITH OBESITY
Markelova A.N., Amri M.S. 50

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

- THERMODYNAMICS OF THE SYSTEM Cu–Me–Fe–S–CH₄ (Me–Pb, ZN, AS)
Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Argyn A.A., Kashagan A.D. 55
- TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT EFFICIENCY AND SAFETY OPERATION
 OF UNDERGROUND TUNNEL ESCALATORS. ANALYSIS OF PARAMETERS.
Elantsev V.V. 61

FORECASTING THE RESULTS OF THE XXXII SUMMER OLYMPIC GAMES 2020
USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Krutikov A.K., Khuykin V.L., Podkovyrin V.D. 70

STUDY OF MATERIAL COMPOSITION AND ENRICHABILITY OF ZHEZDY
PROCESSING PLANT MANGANIFEROUS TAILINGS

Mustakhimov A.T., Zeynullin A.A., Musin M.T. 75

REVIEWS

CHARACTERISTICS OF SPECIAL CONSTRUCTION CERAMIC PRODUCTS

Shishakina O.A., Palamarchuk A.A. 83

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ARTICLES

ASYMPTOTIC SOLUTION OF A SINGULAR-PERTURBED PROBLEM
OF OPTIMAL MANAGEMENT WITH MINIMUM ENERGY

Imanaliev Z.K., Ashirbaev B.Y. 89

MODELING OF THE OPTICAL SYSTEM OPERATING WITH INCOHERENT LIGHT

Ismanov Yu.Kh., Tynyshova T.D., Abdulaev A.A. 98

COMPARATIVE ANALYSIS OF ORTHOGONALIZATION PROCEDURES
FOR BASES OF EUCLIDEAN AND HILBERT SPACES

Penkov V.B., Levina L.V. 103

THE EFFECT OF SCATTERING ON THE ACCURACY OF THE ABSORPTION
INDEX IN THE «THERMAL LENS» METHOD

Petropavlovskiy V.M. 108

CHEMICAL SCIENCES

ARTICLES

CALCULATION OF COMBUSTION ENTHALPIES AMINO ACIDS AND NUCLEOBASES
ACCORDING TO THEIR ELEMENT COMPOSITION AND STRUCTURE

Saralov A.I. 113

СТАТЬИ

УДК 57.063.8:619:616.9

**ПОЛУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ АТТЕНУИРОВАННОГО AroA
МУТАНТНОГО ШТАММА *PASTEURELLA MULTOCIDA***

**Далбаев Н.К., Кайсенов Д.Н., Султанкулова К.Т., Тайлакова Э.Т.,
Червякова О.В., Алиева А.Б., Абсатова Ж.С., Баракбаев К.Б.**

*РГП «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности» (НИИПББ),
г.м. Гвардейский, e-mail: dnk-63@mail.ru*

В исследованиях использовали дикий тип *P. multocida*, выделенный на территории Алматинской области Республики Казахстан от теленка, погибшего во время вспышки пастереллеза. Представлены результаты исследований с целью получения аттенуированного штамма *P. multocida* методом введения ауксотрофных мутаций в ген AroA. Функция данного гена существенна для роста бактерий *in vivo* и для развития инфекционного процесса. Для получения AroA мутантов *P. multocida* были сконструированы две плазмиды, несущие в себе ген AroA с нарушенной функцией. В течение многократных пассажей трансформантов на средах, содержащих канамицин, было отобрано 9 клонов, которые по результатам ПЦР-анализа относились к виду *P. multocida*. При изучении данных клонов на содержание AroA гена мутантного типа ПЦР-продукты размером 1922 п.н. были наработаны в 3 клонах, что указывает на наличие генетической конструкции. Данные клоны изолировали и затем культивировали методом предельных разведений. Полученные единичные колонии высевали на минимальную среду М9, при этом отмечали рост всех исследуемых субклонов. На конечном этапе изучали вирулентность полученных рекомбинантных клонов для белых мышей. По результатам опыта был выбран наименее патогенный клон, который может использоваться в качестве противопастереллезного вакцинного кандидата.

Ключевые слова: *Pasteurella multocida*, рекомбинантный, AroA мутант, плазмида, клон, вирулентность

**OBTAINING A GENETIC ATTENUATED AroA MUTANT
STRAIN *PASTEURELLA MULTOCIDA***

**Dalbaev N.K., Kaysenov D.N., Sultankulova K.T., Taylakova E.T.,
Chervyakova O.V., Alieva A.B., Absatova Zh.S., Barakbaev K.B.**

Research Institute for biological safety problems (RIBSP), Gvardeyskiy, e-mail: dnk-63@mail.ru

The studies used the wild type *P. multocida* isolated in the Almaty region of the Republic of Kazakhstan from a calf who died during an outbreak of pasteurellosis. The results of studies with the aim of obtaining an attenuated strain of *P. multocida* by introducing auxotrophic mutations into the AroA gene are presented. The function of this gene is essential for the growth of bacteria *in vivo* and for the development of the infectious process. To obtain AroA mutants of *P. multocida*, two plasmids were constructed that carried the AroA gene with impaired function. During repeated passages of transformants on media containing kanamycin, 9 clones were selected, which according to the results of PCR analysis belonged to the species *P. multocida*. When studying these clones for the content of AroA gene of the mutant type, PCR products of 1922 bp in size were obtained in 3 clones, indicating the presence of a genetic construct. These clones were isolated and then cultured using the limiting dilution method. The obtained single colonies were seeded on M9 minimal medium, while the growth of all studied subclones was noted. At the final stage, the virulence of the obtained recombinant clones for white mice was studied. According to the results of the experiment, the least pathogenic clone was selected, which can be used as an anti-pasteurellosis vaccine candidate.

Keywords: *Pasteurella multocida*, recombinant, AroA mutant, plasmid, clone, virulence

Пастереллез — высококонтагиозное заболевание многих видов сельскохозяйственных, синантропных и диких животных, пушных зверей и птиц с высокой летальностью и тенденцией к стационарности. Решение проблемы борьбы с пастереллезом осложняется тем, что патогенные пастереллы длительное время сохраняются в организме не только переболевших и бывших с ними в контакте здоровых животных, но и в организме синантропных животных и птиц, создавая таким образом стационарный эпизоотический очаг [1–3]. Ежегодная регистрация пастереллеза у животных сви-

детельствует о напряженности эпизоотической и эпидемической ситуации по данному заболеванию.

Таким образом, широкое географическое распространение пастереллеза, восприимчивость к нему всех видов домашних животных, многих диких млекопитающих и птиц, а также значительный ущерб, наносимый им отдельным животноводческим хозяйствам и даже целым районам, требует совершенствования лечебно-профилактических мероприятий [4].

Основным методом контроля пастереллеза является вакцинация с использованием

адьювантных вакцин, содержащих инаktivированные бактерии вида *P. multocida*. Недостатком данных вакцин является краткосрочность создаваемого ими иммунитета (менее 6 мес.) и необходимость ревакцинации для индукции необходимого протективного эффекта [5]. При этом отмечено, что данный тип препаратов предохраняет только от гомологичных серотипов *P. multocida*.

Использование в составе препаратов масляных адьювантов, значительно повышающих иммуногенность инаktivированных вакцин, приводит к увеличению числа поствакцинальных осложнений, что связано с высокой вязкостью масел и большим количеством инаktivированных бактериальных клеток (10^{10} – 10^{11} микробных клеток) [6]. Несмотря на разработку новых масляных адьювантов со сниженной вязкостью, препараты на их основе не нашли широкого применения в связи со значительным повышением стоимости вакцин [7].

Живые слабовирулентные вакцины в сравнении с инаktivированными, а также с живыми авирулентными пастереллами, обладают выраженной иммуногенностью и более эффективны как вакцина [8]. Преимуществом таких вакцин, помимо их высокой эффективности, является возможность их аэрозольного применения, что обеспечивает проведение массовых вакцинаций в короткие сроки в промышленном птицеводстве с минимальными затратами [9].

В настоящее время за рубежом созданы и проходят испытания живые вакцины против пастереллеза крупного рогатого скота, свиней, кроликов, птицы [10]. Основа таких вакцинных препаратов – аттенуированные штаммы возбудителя, полученные различными путями, в том числе – индуцированного мутагенеза и дальнейшего отбора мутантных производных возбудителя, устойчивых к антибиотикам. Антибиотикоустойчивые генетические маркеры позволяют дифференцировать вакцинные штаммы от полевых. Данный метод аттенуации имеет недостаток, связанный с высоким риском возврата к вирулентной форме [11].

В литературных источниках приводится альтернативный метод, обусловленный введением определенных ауксотрофных мутаций в ген *AroA* вирулентных штаммов пастерелл, что делает их авирулентными. Функция данного гена существенна для роста бактерий *in vivo* и для развития инфекционного процесса. На основе данного метода создан ряд коммерческих препаратов для профилактики пастереллеза КРС, буйволов и кур. Вакцинация *AroA* мутантными штаммами пастерелл приводит к невоспри-

имчивости к заражению как гомологичными, так и гетерологичными штаммами *P. multocida* [12].

Цель данного исследования – получение генетически аттенуированного *AroA* мутантного штамма *Pasteurella multocida*.

Материалы и методы исследования

В работе использовали дикий тип *P. multocida*, выделенный на территории Алматинской области Республики Казахстан от теленка, погибшего во время вспышки пастереллеза. Указанный штамм пастерелл выращивали на средах Brain Heart Infusion Agar (BHIA) и Brain Heart Infusion Broth (BHIB) при 37°C в течение 18–20 ч. Дикий тип *P. multocida* в дальнейшем использовали для получения *AroA* вакцины.

Репрезентативные колонии *P. multocida* высевали на BHIB без антибиотиков и выращивали при 30°C в течение 16 ч. Проводили три 16 часовых последовательных пассажа культуры в 5 мл среды бульона BHIB и инкубировали при 30°C, что способствует удалению плазмиды. Культуру объема 10 мкл высевали на BHIA и инкубировали при 37°C в течение 16 ч для изоляции колоний. Канамицин-чувствительные колонии анализировали с помощью ПЦР с *P. multocida* *AroA* парами праймеров, с целью исключения наличия данных вставок.

Канамицин-резистентные колонии высевали на среду M9, содержащую: фосфатный буфер, 1 м MMgSO₄, 0,1 м MCaCl₂, 0,2% (w/v) глюкозы и 1,5% (w/v) Нобель агара (Difco), тиамин (10мкг/мл), тирозин, триптофан, фенилаланин (по 40 мкг/мл) и 2,3 дигидробензойная кислота (10мкг/мл). Клоны способные расти на данной среде, относятся к *AroA* мутантам. Штамм *Escherichia coli* TOP 10 (Invitrogen) выращивали в бульоне LB, содержащем соответствующие антибиотики (ампициллин, 50 мкг/мл, и канамицин, 40 мкг/мл) в колбах при 150 об/мин, или на чашках с агаром LB в течение ночи при 37°C.

Выделение и манипуляция ДНК

Хромосомная ДНК из *P. multocida* была выделена в соответствии Ausubel и др. [13]. Во всех манипуляциях использованы стандартные методы молекулярного клонирования, трансформации и электрофореза [14].

Получение аттенуированных рекомбинантных *AroA* мутантов *P. multocida*

Для получения *AroA* мутантов *P. multocida* были сконструированы две плазмиды, несущие в себе ген *AroA* с нарушенной функцией. В качестве исходной

была взята нуклеотидная последовательность гена *AroA* штамма PBA100 *P. multocida* (номер в GenBank – Z14100). Кассета, кодирующая резистентность к канамицину, была получена путем вырезания PstI фрагмента размером 1240 п.н. из плазмиды pUC4K (Pharmacia).

Для получения первой плазмиды, которая имеет в качестве маркера ген устойчивости к канамицину, из *AroA*-гена был вырезан участок EcoRV/ClaI размером 302 п.н. (нуклеотиды 932-1233). Затем конструкция, кодирующая устойчивость к канамицину, была вставлена в ген *AroA* по уникальному сайту рестрикции NsiI. В результате получена последовательность, имеющая размер 2565 п.н., которую клонировали в плазмиду pBluescriptII SK(-) по сайтам рестрикции BamHI/PstI.

Для получения безмаркерной мутации из *AroA*-гена был вырезан участок EcoRV/ClaI размером 302 п.н. (нуклеотиды 932-1233). Данная последовательность была клонирована в плазмиду pBluescript II SK(-) по сайтам рестрикции PstI/SmaI.

Электропорация

Компетентные бактерии *P. multocida* (50 мкл) были смешаны с 200 нг плазмидной ДНК в кювете для электропорации. Также была взята 1 кювета с компетентными бактериями без добавления плазмидной ДНК. Смесь незамедлительно электропорировали после добавления ДНК (Gene-pulser; Bio-Rad) при 15,000 V/cm, 800 Ω и 25 мкF с постоянным результирующим временем, составляющим от 7,8 до 8,9 мс. К клеткам добавляли 150 мкл обогащенной среды SOC. Электропорированные клетки восстанавливали в течение 2 ч при 37 °C на шейкере с перемешиванием, после чего рассевали на ВН1А с содержанием 50 мкг/мл канамицина и инкубировали в течение 24 ч при 30 °C.

Полученные единичные колонии (4–5 шт.) высевали на ВН1В, содержащий 50 мкг/мл канамицина и инкубировали в течение 18 ч при температуре 30 °C. Полученный материал высевали на ВН1А с канамицином (по 10 мкл на чашку) и инкубировали 16 ч при 40 °C для получения единичных колоний мутантов.

ПЦР анализ

Для амплификации последовательностей генов *P. multocida* использовали видоспецифичные праймеры КМТ17 и КМТ1SP6, разработанные Townsend и др. [15]. Канамицин-чувствительные колонии анализировали с помощью ПЦР с *P. multocida* *AroA* парами праймеров KanF, KanR

(483 п.н.) и *AroAf*, *AroAr* (988 п.н.), с целью исключения наличия данных вставок.

Постановка ИФА

Для выявления антител к бактериям *P. multocida* использовали набор Invitrogen «Super Script III One – Step RT – PCR with Platinum Tag»; прямой и обратный праймеры *P. multocida AroA*; прямой и обратный праймеры *P. multocida Canamisin*. Учет результатов реакции проводили на фотометре при длине волны 405 нм.

Определение вирулентности рекомбинантных штаммов

Для определения степени патогенности *AroA* мутантных клонов, использовали белых беспородных мышей 2–3 недельного возраста, живой массой 16–18 г. Для этого их заражали подкожно в область спины в объеме 0,5 см³ полученными мутантными клонами.

Результаты исследований и их обсуждение

Для получения *AroA* мутантов, согласно представленным в литературе методикам [16], требуется проведение многократных пассажей на средах, содержащих канамицин с клонированием канамицин-резистентных мутантов с последующим генетическим анализом. Отбор репрезентативных колоний проводили высеком трансформантов на ВН1А с добавлением 10 мкг/мл канамицина. В результате высева отмечали рост более 200 колоний одного типа. Полученные единичные колонии (80 колоний) пассировали, чередуя жидкую среду ВН1В и твердую среду ВН1А с добавлением 10 мкг/мл канамицина.

В течение 30 пассажей 71 исследуемых клонов были исключены из экспериментов, так как при потере плазмиды происходила утрата их резистентности к антибиотику, вследствие чего пастереллы утратили способность к росту в канамицин-содержащих средах.

При анализе ПЦР оставшихся 9 клонов установлено, что все клоны относятся к виду *P. multocida* (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что профили ПЦР-продуктов (460 п.н.) клонов *P. multocida*, содержащих *AroA* мутанты соответствовали профилю исходного варианта *P. multocida*.

Клоны *P. multocida*, содержащие *AroA* мутанты проверяли на канамицин-резистентность методом ПЦР (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что профили ПЦР-продуктов (483 п.н.) *P. multocida*, содержащих *AroA* мутанты указывают на соответствие канамицин-резистентности изучаемых клонов.

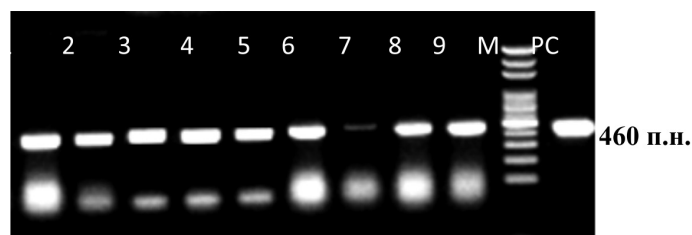


Рис. 1. Электрофореграмма ПЦР-продуктов клонов *P. multocida*, содержащих *AroA* мутанты: 1 – клон № 4, 2 – клон № 6, 3 – клон № 7, 4 – клон № 8, 5 – клон № 9, 6 – клон № 10, 7 – клон № 11, 8 – клон № 16, 9 – клон № 17, М – маркер, РС – положительный контроль *P. multocida*

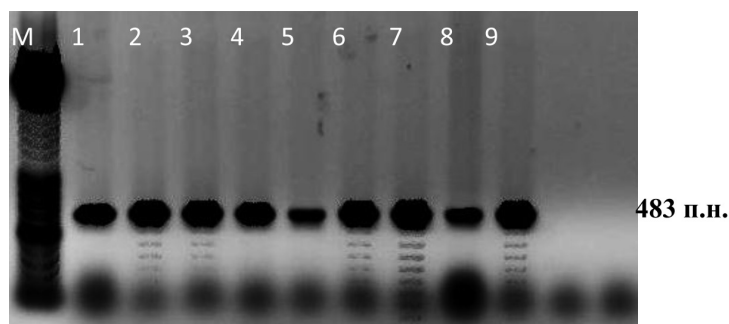


Рис. 2. Электрофореграмма ПЦР-продуктов клонов *P. multocida*, содержащих *AroA* мутанты на канамицин резистентность: 1 – клон № 4, 2 – клон № 6, 3 – клон № 7, 4 – клон № 8, 5 – клон № 9, 6 – клон № 10, 7 – клон № 11, 8 – клон № 16, 9 – клон № 17, М – маркер, 50 п.н., Invitrogen

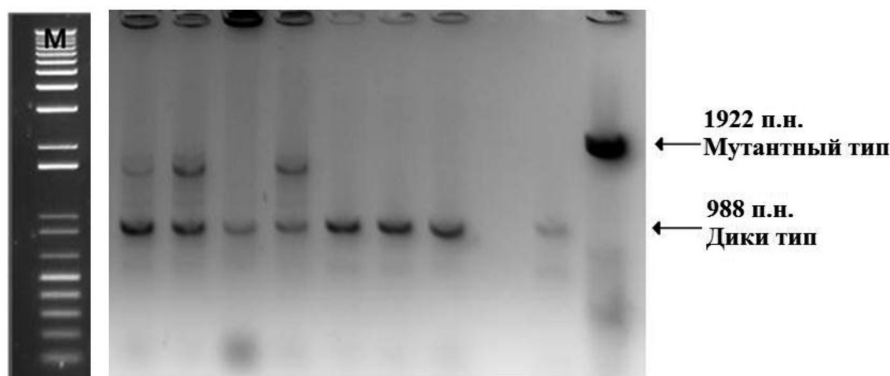


Рис. 3. Электрофореграмма ПЦР-продуктов *AroA* гена клонов *P. multocida*: 1 – клон № 4, 2 – клон № 6, 3 – клон № 7, 4 – клон № 8, 5 – клон № 9, 6 – клон № 10, 7 – клон № 11, 8 – клон № 16, 9 – клон № 17, М – маркер, 1 kb, Invitrogen, С – контроль *AroA* гена

Клоны *P. multocida* проверены на содержание *AroA* гена дикого типа (988 п.н.) и мутантного типа (1922 п.н.) (рис. 3).

Из данных рис. 3 видно, что ПЦР-продукты mutant type *AroA* гена (1922 п.н.) нарабатаны в клонах № 4, № 6, № 8 *P. multocida*. Указанные клоны рекомбинантов были изолированы и использованы для дальнейших исследований.

По результатам ПЦР анализа получены следующие данные: при анализе на канамицин наблюдается наработка ПЦР продуктов размером 483 п.н.; на КМТ 1 ген – 460 п.н., что свидетельствует о принадлежности исследуемого материала к *P. multocida*. При постановке ПЦР на *AroA* ген выявлено, что при исследовании исходного материала (дикий тип) наработан продукт размером

988 п.н., а при изучении генетически аттенуированного штамма – продукт размером 1922 п.н. Последнее указывает на наличие генетической конструкции, вставленной в ген *AroA P. multocida*.

На следующем этапе проводили клонирование каждого рекомбинанта методом предельных разведений для получения единичных колоний. После чего по 10 колоний каждого рекомбинанта высевали на минимальную среду М9 (канамицин 10 мкг/мл) с добавлением тиамина, тирозина, триптофана, фенилаланина, 2,3-дигидробензойной кислоты, р-гидробензойной кислоты. По истечении 18–20 ч на среде М9 отмечали рост всех исследуемых субклонов.

В дальнейшем проводили изучение вирулентности рекомбинантных клонов *P. multocida* № 4, № 6 и № 8 на мышах (таблица).

Уровень патогенности *AroA* мутантов для мышей

Испытуемый мутант	МЛД 50, м.с.
№ 4	$5,4 \pm 0,9 \times 10^6$
№ 6	$4,5 \pm 0,4 \times 10^8$
№ 8	$3,2 \pm 0,5 \times 10^3$
исходный (дикий тип)	$2,5 \pm 0,7 \times 10$

Как видно из данных таблицы, уровень патогенности для всех испытанных мутантов клонов значительно различался. Наименее патогенным оказался клон № 6 – показатель МЛД 50 при его введении составил $4,5 \pm 0,4 \times 10^8$ (м.с.). Таким образом, данный клон пригоден для использования в качестве вакцинного штамма.

Выводы

1. В результате проведенных исследований получены 3 клон штамма *P. multocida*, содержащего мутантный *AroA* ген.

2. При изучении уровня их патогенности на белых мышах, наименее патогенными свойствами обладал клон № 6.

3. Указанный клон может быть использован в качестве вакцинного штамма-кандидата для профилактики пастереллеза.

Список литературы

1. Мека-Меченко В.Г., Некрасова Л.Е., Мека-Меченко Т.В., Лухнова Л.Ю., Куница Т.Н., Избанова У.А., Бегимбаева Э.Ж. Пастереллез животных в Республике Казахстан // Вестник КазНУ. 2014. № 40. С. 156–159.

2. Hamada M., Elshimy N., Abusriwil H. Infective Exacerbation of *Pasteurellamultocida*. Hindawi Publishing Corporation Case Reports in Infectious Diseases. 2016. Vol. P. 4. DOI: 10.1155/2016/2648349.

3. Nahar Panna S., Hussain Nazir N., Rahman B., Ahmed S., Saroore G., Chakma Sh., Kamal T., Majumder Ummay H. Isolation and molecular detection of *Pasteurellamultocida* Type A from naturally infected chickens, and their histopathological evaluation in artificially infected chickens in Bangladesh. J. Adv. Vet. Anim. Res. 2015. no 2(3). P. 338–345.

4. Gao X., Xiao J.H., Qin H.Y., Cao Z., Wang H.B. Impact of meteorological factors on the prevalence of porcine pasteurellosis in the southcentral of Mainland China. Preventive Veterinary Medicine. 2016. Vol. 125. P. 75–81.

5. Евтыхова Е.Б., Мукантаев К.Н., Турсунов К., Сытник И.И., Карибаев Т.Б., Хасенов Б.Б., Шустов А.Б. Метод выделения ДНК и тест-система ПЦР в реальном времени для диагностики лейкоза крупного рогатого скота. Биотехнология. Теория и практика. 2012. № 2. С. 78–84.

6. Bode C., Zhao G., Steinhagen F., Kinjo T., Klimman D.M. CpG DNA as a vaccine adjuvant. Expert Rev Vaccines 2011. Vol. 10. P. 499–511.

7. Ahmada T.A., Rammahb S.S., Sheweitab S.A., Harounb M., El-Sayedc L.H. Development of immunization trials against *Pasteurella multocida*. Vaccine. 2014. Vol. 32. P. 909–917.

8. De Alwis M.C., Carter G.R., Chengappa M.M. Production and characterization of streptomycin dependent mutants of *Pasteurella multocida* from bovine haemorrhagic septicaemia. Journal of Comparative Medicine. 1980. Vol. 44 (4). P. 418–422.

9. Thanasarakulpong A., Poolperm P., Tankaw P., Sawada T., Sthitmatee N. Protectivity conferred by immunization with intranasal recombinant outer membrane protein H from *Pasteurella multocida* serovar A:1 in chickens. Journal of Veterinary Medical Science. 2015. Vol. 77. P. 321–326.

10. Saleem L., Munir R., Ferrari G., Afzal M., Chaudhary F.R. Efficacy and cross-protection of live intranasal aerosol hemorrhagic septicemia vaccine in buffalo calves. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2014. Vol. 3. P. 300–307.

11. Vaxsafe PM living Heddlestone serotype 1, *aroA* deleted. [Electronic resource]. URL: <http://www.bioproperties.com.au/vaccines/documents/LFT-PM-V1.pdf> (date of access: 21.02.2020).

12. Once PMH SQ *Pasteurella Haemolytica* and *Pasteurella Multocida* Vaccine. Avirulent Live Cultures. [Electronic resource]. URL: http://www.merck-animal-health-usa.com/products/130_120699/product_details_130_121214.aspx (date of access: 21.02.2020).

13. Ausubel F.A., Brent R., Kingston R.E., Moore D.D., Seidman J.G., Smith J.A., Struhl K. Current Protocols in Molecular Biology. Volumes 1 and 2. John Wiley & Sons, Inc., Media, PA, 1989.

14. Bryksin A.V., Matsumura I. Overlap extension PCR cloning: a simple and reliable way to create recombinant plasmids. Bio-techniques. 2010. Vol. 48. 463 p. DOI: 10.2144/000113418.

15. Townsend K.M., Frost A.J., Lee C.W., Papadimitriou J.M., Dawkins H.J. Development of PCR assays for species and type – specific identification of *Pasteurella multocida* isolates. Clin. Microbiol. 1998. Vol. 36(4). P. 1096–1100.

16. Noriega F.R., Wang J.Y., Losonsky G., Maneval D.R., Hone D.M., Levine M.M. Construction and characterization of attenuated AaroA AvirG *Shigella flexneri* 2a strain CVD 1203, a prototype live oral vaccine. infect. Immun. 1994. Vol. 62. P. 5168–5172.

УДК 57.082.26

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МАССОВОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ *AZOLLA CAROLINIANA* В УСЛОВИЯХ ЮГА КЫРГЫЗСТАНА

Раимбеков К.Т.*Ошский гуманитарно-педагогический институт имени А.С. Мырсабекова,
Ош, e-mail: turgunovich67@bk.ru*

Нам известно, что для научного анализа перспективности объектов культивирования необходимо лабораторные исследования, позволяющие в экспериментальных условиях анализировать эффективную продуктивность, основные параметры культивирования и методы управления качественным составом биомассы. В данной статье приведены экспериментально аргументированные результаты научных исследований по определению эффективных методов массового культивирования *Azolla caroliniana* в условиях интродукции в городе Ош. В результате лабораторных опытов на основании современных методов исследований были изучены продуктивность изученного вида водных растений на различных концентрациях органических и органоминеральных питательных средах с целью дальнейшего практического использования. В ходе анализа установлено, что 10 г/л оказалось оптимальной для культивирования *Azolla caroliniana* на питательной среде овсяного и коровьего навоза. Эффективный рост и накопление биомассы на питательной среде свиного навоза и куриного помета отмечается при концентрации 5 г/л. Среди используемых орго-минеральных питательных сред наиболее оптимальным оказалась среда коровьего навоза (10 г/л) + KNO₃ (2 г/л). С целью изучения действия первичной плотности посева на продуктивность *Azolla caroliniana* был проведен ряд лабораторных опытов. На питательной среде овсяного навоза (10 г/л) эффективный рост и оптимальное накопление биомассы наблюдается при первичной плотности биомассы 1000 г/м². На питательной среде коровьего и свиного навоза при концентрации 10 г/л лучше растет при плотности маточных культур 700 г/м². При использовании куриного помета (10 г/л) и коровьего навоза (10 г/л) с добавлением KNO₃ (2 г/л) в качестве питательной среды, первоначальная плотность биомассы 500 г/м² считается оптимальной. Установлено, что что *Azolla caroliniana* оптимально растет и дает наилучший прирост биомассы в теплые месяцы года (июнь-август). Рост и накопление биомассы резко замедляется с наступлением холодных дней (октябрь) и в ранневесенние месяцы (май).

Ключевые слова: биомасса, питательная среда, плотность, концентрация, температура, продуктивность, суточный прирост

DEVELOPMENT OF METHODS FOR MASS CULTIVATION OF *AZOLLA CAROLINIANA* IN SOUTHERN KYRGYZSTAN

Raimbekov K.T.*Osh humanitarian and pedagogical Institute named after A.S. Myrsabekov,
Osh, e-mail: turgunovich67@bk.ru*

We know that for scientific analysis of the prospects of cultivation objects, laboratory studies are necessary that allow analyzing the effective productivity, the main parameters of cultivation, and methods for managing the qualitative composition of biomass under experimental conditions. This article presents experimentally reasoned results of scientific research to determine effective methods of mass cultivation of *Azolla caroliniana* in the conditions of introduction in the city of Osh. As a result of laboratory experiments on the basis of modern research methods, the productivity of the studied species of aquatic plants at different concentrations of organic and organomineral nutrient media was studied for further practical use. During the analysis, it was found that 10 g / l was optimal for cultivation of *Azolla caroliniana* on a nutrient medium of oat and cow manure. Effective growth and accumulation of biomass on the nutrient medium of pig manure and chicken manure is observed at a concentration of 5 g/l. Among the organic-mineral nutrient media used, the most optimal medium was cow manure (10 g/l) + KNO₃ (2 g/l). In order to study the effect of primary seed density on the productivity of *Azolla caroliniana*, a number of laboratory experiments were conducted. Effective growth and optimal accumulation of biomass is observed on the sheep manure nutrient medium (10 g/l) at a primary biomass density of 1000 g/m². On the nutrient medium of cow and pig manure at a concentration of 10 g / l, it grows better when the density of mother crops is 700 g/m². When using chicken manure (10 g / l) and cow manure (10 g/l) with the addition of KNO₃ (2 g/l) as a nutrient medium, the initial biomass density of 500 g/m² is considered optimal. It was found that *Azolla caroliniana* grows optimally and gives the best increase in biomass in the warm months of the year (June-August). The growth and accumulation of biomass slows sharply with the onset of cold days (October) and in the early spring months (may).

Keywords: biomass, nutrient medium, density, concentration, temperature, productivity, daily growth

В последние годы вопросы экологии и охраны окружающей среды в Кыргызстане приобрели чрезвычайно острый характер. Многие промышленные, коммунально-бытовые и сельскохозяйственные стоки без предварительной очистки сбрасываются в открытые водоемы. Это повышает степень загрязнения водоемов, нарушает биологическое равновесие в них, пагубно влияет на флору и созда-

ют благоприятные условия для патогенных микроорганизмов, которые являются возбудителями различных инфекционных заболеваний [1–3].

В настоящее время химические, механические, физические способы утилизации загрязненных вод не полностью очищают загрязненные воды и требуют большие финансовые затраты. Одним из наиболее эффективных и современных способов фито-

ремедиации загрязненных стоков считается проектирование замкнутых систем. В основе этих методов лежит фиторемедиации загрязненных вод с помощью некоторых водорослей, водных макрофитов и других гидробионтов [4–6].

Разработка методов культивирования водных макрофитов в различных загрязненных водах в целях их фиторемедиации с одновременным получением кормовой биомассы создает основы биотехнологической системы [7]. Необходимыми факторами, определяющими непрерывную работу такой системы, считаются: определение видов водных макрофитов, способных обитать в различной концентрации загрязняющих веществ; создание устойчивых поликультур высших водных растений, активно участвующих в утилизации загрязнения и создающих качественную кормовую биомассу [8–10].

Azolla caroliniana – плавающая водная растения из семейства Azollaceae. Широко распространено в природных водоемах Центральной, Южной и северной Америки. Из-за климатических условий в Европе *azolla caroliniana* встречается очень редко. *Azolla caroliniana*-папоротник, у нее отсутствует корни. В устьицах плавающих листьев *azolla caroliniana* содержатся цианобактерии (*Anabaena azollae*), которые являются симбионтами, поглощающими азот из атмосферы.

Azolla caroliniana можно использовать как естественное затенение, кроме того, она служить надежным укрытием для молоди. Имеет коммерческое значение в культуре в южной и восточной Азии в качестве биоудобрения, цениться за азотофиксирующую способность, которая приносит пользу для таких культур, как рис. Собранные ли-

стья также используется в качестве пищи для свиней и уток в Юго-Восточной Азии, для крупного рогатого скота, рыбы и птицы во Вьетнаме, а также для свиней в Сингапуре и на Тайване. Растение содержит высокий уровень протеина. В слаборазвитых странах *azolla caroliniana* едят в поджаренном виде, а в Африке иногда они входят в состав мыла, а в Новой Зеландии используется как лечебное средство от ангины.

Методы массового культивирования *Azolla caroliniana* в условиях интродукции на Юге Кыргызстана на больших площадях пока не разработаны. Имеются только некоторые опытные данные по культивированию в лабораторных условиях.

Таким образом, разработка методов массового культивирования *Azolla caroliniana* в условиях Юга Кыргызстана является одним из актуальных задач прикладных наук.

Целью настоящей работы является разработка методов массового культивирования *Azolla caroliniana* в условиях интродукции Юга Кыргызстана.

Материалы и методы исследования

Azolla caroliniana культивировали в деревянных бассейнах, выстланных полиэтиленовой пленкой. Глубина воды 60–70 см. Водная поверхность каждого бассейна 1 м². В качестве питательной среды для культивирования *Azolla caroliniana* применяли навозы сельскохозяйственных животных и куриного помета в концентрациях 5, 10, 15 г/л. В качестве минеральной среды использовали 2 г/л KNO₃.

За период опыта температура воздуха колебалась в пределах 26–36 °С, температура воды 17–24 °С, pH 6–7. В рис. 1 показан климат города Ош.

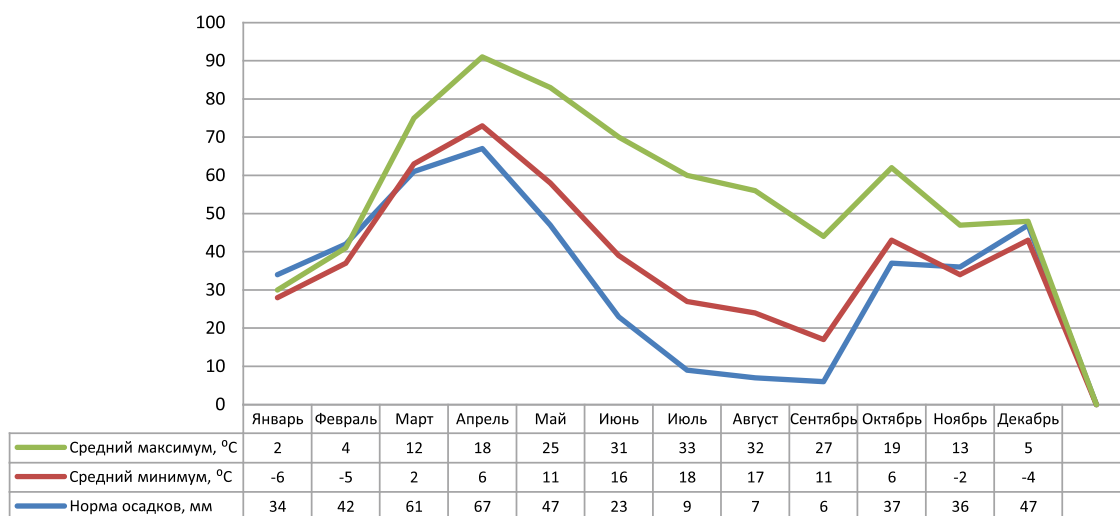


Рис. 1. Климат города Ош

Среднегодовая температура города Ош составляет 11,7°C. Среднегодовая норма осадков – 37,9 мм.

В августе выпадает сравнительно меньше количество осадков. В среднем в этом месяце количество осадков составляет 6 мм. Сравнительно большое количество осадков выпадает на март, в среднем 55 мм.

Опыты ставили в 4 вариантах, из них 1 – контрольный. Ежедневно наблюдали за состоянием температуры воздуха и воды, измеряли pH. Прирост сырой биомассы измеряли через каждые 3 дня.

Результаты исследования и их обсуждение

Для водных растений, вода не только необходимый для жизни важный экологический фактор, но и непосредственная среда обитания, в которой весь комплекс факторов складывается совсем по-иному, чем для наземных растений.

Анализ литературных данных свидетельствует, что продуктивность водных растений зависит от состава и концентрации питательной среды. В связи с этим, в усло-

виях специально оснащенных лабораториях и открытых водоемах, мы провели ряд экспериментальных опытов с целью определения продуктивности *Azolla caroliniana* с целью отбора более эффективных (табл. 1). Бассейны, предназначенные для проведения опытов, сооружены на открытом, хорошо освещаемом и прогреваемом месте экспериментального участка института. Нам известно, что арычная вода несет много спор разных видов водорослей и семян водных растений. В связи с этим бассейны заполняли водопроводной водой.

В ходе анализа установлено, что 10 г/л оказалось оптимальной для культивирования *Azolla caroliniana* в питательной среде овечьего и коровьего навоза. При этом среднесуточный прирост биомассы при плотности биомассы до начала эксперимента 800 г/м², составлял 29,3 (3,7%) и 34,7 г (4,3%). Эффективный рост и накопление биомассы в питательной среде свиного навоза и куриного помета отмечается при концентрации 5 г/л. Суточный прирост сырой биомассы при этом составляет 24,7 и 29,0 г или 3,1 и 3,6%.

Таблица 1

Культивирования *Azolla caroliniana* в различных питательных средах при разной концентрации

№	Виды питательной среды	Плотность биомассы г/м ²		Суточный прирост биомассы		Прирост биомассы за 30 суток	
		До опыта	В конце опыта	г	%	г	%
1	Среда из овечьего навоза:						
	5 г/л	800	1356 ± 91	18,5 ± 2	2,3	556 ± 45	69,5
	10 г/л	800	1678 ± 86	29,3 ± 3	3,7	878 ± 55	109,6
	15 г/л	800	1275 ± 85	15,8 ± 2	2,9	475 ± 37	59,4
2	Среда из коровьего навоза:						
	5 г/л	800	1455 ± 65	21,8 ± 3	2,7	655 ± 42	81,9
	10 г/л	800	1840 ± 60	34,7 ± 4	4,3	1040 ± 45	130,0
	15 г/л	800	1330 ± 77	17,7 ± 2	2,2	530 ± 50	66,3
3	Среда из свиного навоза:						
	5 г/л	800	1540 ± 78	24,7 ± 3	3,1	740 ± 41	92,5
	10 г/л	800	1310 ± 80	17,0 ± 2	2,1	510 ± 38	63,8
	15 г/л	800	1190 ± 50	13,0 ± 3	1,6	390 ± 40	48,8
4	Среда из куриного помета:						
	5 г/л	800	1670 ± 55	29,0 ± 4	3,6	870 ± 38	108,8
	10 г/л	800	1447 ± 94	21,6 ± 3	2,7	647 ± 53	80,9
	15 г/л	800	1380 ± 78	19,3 ± 2	2,4	580 ± 44	72,5
5	Среда из овечьего навоза (10 г/л) + KNO ₃ (2 г/л)	800	1730 ± 65	31,3 ± 3	3,9	939 ± 52	117,4
6	Среда из коровьего навоза (10 г/л) + KNO ₃ (2 г/л)	800	1910 ± 77	37,0 ± 5	4,6	1110 ± 46	138,8
7	Среда из свиного навоза (10 г/л) + KNO ₃ (2 г/л)	800	1625 ± 53	27,5 ± 5	3,4	825 ± 38	103,1
8	Среда из куриного помета (10 г/л) + KNO ₃ (2 г/л)	800	1785 ± 65	32,8 ± 7	4,1	985 ± 46	123,1

Из табл. 1 видно, что среди используемых органо-минеральных питательных сред наиболее оптимальным оказалась среда коровьего навоза (10 г/л) + KNO₃ (2 г/л). Среднесуточный прирост составляет 37,0 г или 4,6%.

С целью изучения действия первичной плотности посева на продуктивности *Azolla caroliniana* был проведен ряд лабораторных опытов. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2. Анализ данных таблиц показывает, что в питательной среде овечьего навоза (10 г/л) эффективный рост и оптимальное накопление биомассы

Azolla caroliniana наблюдается при первичной плотности биомасс 1000 г/м². Средний прирост сырой биомассы через 30 суток от начала опыта составляет 1600 г/м² или 160%. В питательной среде коровьего и свиного навоза при концентрации 10 г/л лучше растет при плотности маточных культур 700 г/м². Прирост сырой биомассы в конце опыта составляет 1750 (250%) и 1327,9 г/м² (189,7). При первичной плотности более 1000 г/м² рост и развитие *Azolla caroliniana* задерживается. Это приводит к уменьшению накопления биомассы с единицы площади.

Таблица 2

Действие первичной плотности посева на продуктивность *Azolla caroliniana*

№	Первоначальная плотность биомассы, г/м²	После опыта (через 30 суток)			Прирост сырой биомассы в конце опыта	
		Сырая биомасса, г/м²	Суточный прирост		г/м²	%
г/м²	%					
Среда из овечьего навоза 10 г/л						
1	300	610 ± 80	10,4 ± 3	3,4	310,8 ± 48	103,6
2	500	1150 ± 56	21,7 ± 5	4,3	650 ± 50	130
3	700	1717,8 ± 75	33,9 ± 4	4,8	1017,8 ± 55	145,4
4	1000	2600 ± 68	53,3 ± 3	5,3	1600 ± 61	160
5	1200	2346 ± 87	38,2 ± 6	3,2	1146 ± 45	95,5
6	1500	2017,5 ± 66	17,3 ± 2	1,2	517,5 ± 30	34,5
Среда из коровьего навоза						
1	300	850,8 ± 64	18,4 ± 3	6,1	550,8 ± 43	183,6
2	500	1550 ± 75	35 ± 3	7	1050 ± 51	210
3	700	2450 ± 80	58,3 ± 5	8,3	1750 ± 50	250
4	1000	2200 ± 65	40 ± 2	4	1200 ± 65	120
5	1200	2206,8 ± 55	33,6 ± 4	2,8	1006,8 ± 36	83,9
6	1500	2655 ± 89	38,5 ± 3	2,6	1155 ± 60	77
Среда из свиного навоза 5 г/л						
1	300	752,4 ± 83	15,1 ± 2	5	452,4 ± 55	150,8
2	500	1378 ± 77	29,3 ± 6	5,8	878 ± 50	175,6
3	700	2027,9 ± 49	44,3 ± 4	6,3	1327,9 ± 37	189,7
4	1000	1617 ± 72	20,3 ± 4	2,1	617 ± 40	61,7
5	1200	1680 ± 84	16 ± 6	1,3	480 ± 68	40
6	1500	1890 ± 94	13 ± 3	0,9	390 ± 53	26
Среда из куриного помета 5 г/л						
1	300	1101 ± 88	26,7 ± 4	8,9	801 ± 54	267
2	500	2153,5 ± 71	55,1 ± 5	11	1653,5 ± 50	330,7
3	700	1533 ± 68	27,8 ± 5	3,9	833 ± 68	119
4	1000	1585 ± 55	19,5 ± 4	1,9	585 ± 54	58,5
5	1200	1590 ± 60	13 ± 3	1,1	390 ± 63	32,5
6	1500	1800 ± 80	10 ± 3	0,7	300 ± 45	20
Среда из коровьего навоза (10 г/л) + KNO ₃ (2 г/л)						
1	300	1260 ± 79	32 ± 4	10,7	960 ± 40	320
2	500	22815 ± 70	77,2 ± 5	15,4	2315 ± 46	463
3	700	1890 ± 59	39,7 ± 6	5,7	1190 ± 60	170
4	1000	1780 ± 66	26 ± 4	2,6	780 ± 35	78
5	1200	1720 ± 80	17,3 ± 5	1,4	520 ± 50	43,3
6	1500	1950 ± 70	15 ± 2	1	450 ± 44	30

При использовании куриного помета (10 г/л) и коровьего навоза (10 г/л) с добавлением KNO_3 (2 г/л) в качестве питательной среды, первоначальная плотность биомассы 500 г/м² считается оптимальной. При первичной плотности 700–1500 г/м² наблюдается резкое снижение накопления биомассы. Это объясняется тем, что в плотных культурах образуется взаимное затенение листостеблей, в результате которого приводит недостаточность солнечного освещения для фотосинтеза.

Исследование показало, что низкий прирост биомасс в конце опыта наблюдается и в разреженных посевах. Один из основных причин задержка роста и накопление биомассы – активная засоряемость разреженных маточных культур разными видами микроводорослей.

Интересно отметить, что от условий, в которых они растут, зависят рост и развитие высших водных растений. В оптимальных для жизни условиях водные растения могут проявлять свойства, которые не проявляют в других условиях. При изучении водных растений в условиях интродукции главную роль играет исследование продуктивности в разные периоды года.

Учитывая вышеизложенное мы поставили цель исследовать продуктивность *Azolla caroliniana* в разные периоды года в условиях города Ош.

Результаты проведенных научных исследований представлены в рис. 2.

Из полученных в исследовании данных, представленных на рис. 2, видно, что *Azolla caroliniana* оптимально растет и дает наилучший прирост биомассы в теплые меся-

цы года (июнь-август). Рост и накопление биомассы резко замедляется с наступлением холодных дней (октябрь) и в ранневесенние месяцы (май).

Необходимо отметить, что эффективный рост *Azolla caroliniana* в условиях интродукции города Ош зафиксирован при температурах 29–32 °С. При анализе полученных результатов видно, что это растение более теплолюбивое и устойчивое к повышенным осадкам.

Выводы

1. Доказано, что для культивирования *Azolla caroliniana* в питательной среде овечьего и коровьего навоза оптимальной концентрации считается 10 г/л. При этом прирост биомассы составляет 109,6 и 130 %.

2. Установлено, что для выращивания *Azolla caroliniana* в питательной среде свиного навоза и куриного помета более благоприятна питательная среда в концентрации 5 г/л. Суточный прирост составляет 3,1 и 3,6 %.

3. Среди органоминеральных питательных сред, используемых для культивирования *Azolla caroliniana* в лабораторных условиях сравнительно эффективным оказалась питательная среда из коровьего навоза (10 г/л) + KNO_3 (2 г/л). Прирост биомассы составляет 138,8 %.

4. Установлена оптимальная первоначальная плотность *Azolla caroliniana* при культивировании в питательной среде овечьего навоза (1000 г/м²), коровьего навоза (700 г/м²), свиного навоза (700 г/м²), куриного помета (500 г/м²) и органоминеральной питательной среде (500 г/м²).

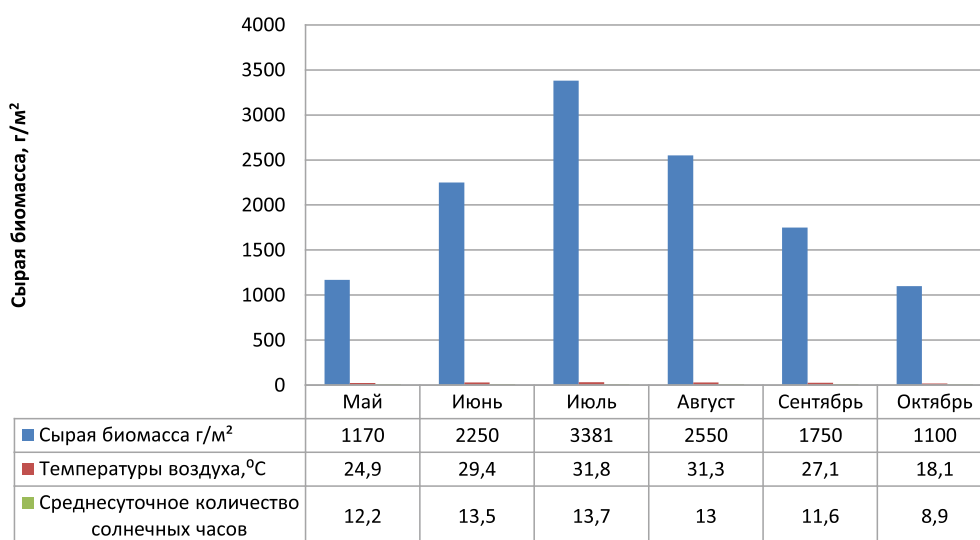


Рис. 2. Продуктивность *Azolla caroliniana* в культуре в условиях города Ош (Среда куриный помет 10 г/л; плотность 500 г/м²)

5. В ходе анализа было установлено, что в условиях города Ош оптимальный рост *Azolla caroliniana* фиксировался в теплые месяцы года (июнь-август). С наступлением осени и весенние месяцы рост изученных растений заметно замедляется.

Список литературы

1. Курцевич Е.П. Опыт использования водоросли эйхорнии для очистки промстоков // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2000. № 9/10. С. 14–15.
2. Субботина Ю.М. Эколого-социальный аспект использования и охраны водных ресурсов // Социальная политика и социология. 2012. № 5 (83). С. 166–176.
3. Раимбеков К.Т. Биологическая очистка сточных вод животноводческих комплексов с использованием высших водных растений // UNIVERSUM: химия и биология. 2017. № 3 (33). С. 19–22.
4. Раимбеков К.Т. Определение предельно возможных нагрузок веществ, загрязняющих биосистему с высшими водными растениями // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 5. С. 45–51.
5. Чепинога В.В. Флористические находки в бассейне верхнего течения реки Лены // Известия Иркутского государственного университета. 2013. № 1. С. 102–109.
6. Манохина Р.П. Интродукция декоративных прибрежно-водных растений в Центральном Таджикистане: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Душанбе, 1984. 12 с.
7. Чачина С.В. Использование биотехнологических методов доочистки нефтесодержащих сточных вод промышленных предприятий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8–3. С. 23–27.
8. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.
9. Раимбеков К.Т. Влияние плотности маточных культур на продуктивность высших водных растений // UNIVERSUM: химия и биология. 2017. № 3 (33). С. 19–22.
10. Свириденко Б.Ф. Элодея канадская *Elodea Canadensis* (Hydrocharitaceae) на Западно-Сибирской равнине // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 3(23). С. 46–55.

УДК 674.62:597.2/.5

**ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫСЛА, ВОЗРАСТНЫЕ И РАЗМЕРНЫЕ
ПОКАЗАТЕЛИ СКОПЛЕНИЙ ТИХООКЕАНСКОЙ СЕЛЬДИ
(*CLUPEA PALLASII*) В МАРТЕ-АПРЕЛЕ 2012–2019 ГГ.
В ЗАПАДНО-КАМЧАТСКОЙ ПРОМЫСЛОВОЙ
ПОДЗОНЕ ОХОТСКОГО МОРЯ**

^{1,2}Смирнов А.А., ³Семенов Ю.К., ³Елатинцева Ю.А., ³Ткаченко А.А., ³Горбачев В.В.

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»), Москва, e-mail: andrsmir@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет», Магадан, e-mail: andrsmir@mail.ru;

³Магаданский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («МагаданНИРО»), Магадан, e-mail: sapmagniro@mail.ru

Показаны особенности промысла среднетоннажного и крупнотоннажного флота на промысле сельди в марте-апреле 2012–2019 гг. в Западно-Камчатской промысловой подзоне Охотского моря. Приведены данные о том, что промысловые показатели флота, в среднем, были выше в первые годы промысла. В апреле, по сравнению с мартом, показатели крупнотоннажного флота возрастали, а среднетоннажного – снижались, что связано с увеличением подвижности косяков сельди и изменением их плотности в апреле. В сравнении с периодом незначительного годового изъятия (1998–2011 гг.), рассматриваются возрастные и размерные показатели сельди из промысловых уловов весной 2013–2019 гг., когда вылов был значителен. В рассматриваемые годы количество младшевозрастных рыб не изменилось, а число старшевозрастных особей увеличилось. Приведены данные о том, что значительный промысел 2013–2019 гг. не повлиял на биологические показатели (возраст и размер тела) гижигинско-камчатской сельди. Ведение промысла гижигинско-камчатской сельди в режиме рекомендованного вылова значительно увеличило ее освоение. В связи с тем, что масштабный лов этого объекта планируется продолжать, рекомендовано в дальнейшем не прекращать наблюдений за биологическими показателями гижигинско-камчатской сельди.

Ключевые слова: гижигинско-камчатская сельдь, возраст, размер, лов, Западно-Камчатская промысловая подзона

**FEATURES OF THE FISHING, AGE AND DIMENSIONAL INDICATORS
OF CLUSTERS OF THE PACIFIC HERRING (*CLUPEA PALLASII*)
IN MARCH-APRIL 2012–2019 IN THE WEST-KAMCHATKA
SEA FISHING SUBZONE OF THE SEA OF OKHOTSK**

^{1,2}Smirnov A.A., ³Semenov Yu.K., ³Elatintseva Yu.A., ³Tkachenko A.A., ³Gorbachev V.V.

¹Russian federal research institute of fisheries and oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow, e-mail: andrsmir@mail.ru;

²North-Eastern State University, Magadan, e-mail: andrsmir@mail.ru;

³Magadan branch of VNIRO («MagadanNIRO»), Magadan, e-mail: sapmagniro@mail.ru

The features of large-tonnage and average-tonnage fleet fishing in the herring fishery in March-April 2012–2019 in the West Kamchatka fishing subzone of the sea of Okhotsk are shown. The data shows that the fishing performance of the fleet, on average, was higher in the first years of fishing. In April, compared to March, the indicators of the large-tonnage fleet increased, while the average-tonnage fleet decreased, which is associated with an increase in the mobility of herring shoals and a change in their density in April. In comparison with the period of insignificant annual withdrawal (1998–2011), the age and size indicators of herring from commercial catches in the spring of 2013–2019, when the catch was significant, are considered. In the years under review, the number of younger-aged fish has not changed, and the number of older-aged individuals has increased. The data shows that significant fishing in 2013–2019 did not affect the biological indicators (age and body size) of Gizhiga-Kamchatka herring. Fishing Gizhiga-Kamchatka herring in the mode recommended catch has significantly increased its development. In comparison with the period of insignificant annual withdrawal (1998–2011), the age and size indicators of herring from commercial catches in the spring of 2013–2019, the period of large-scale fishing, are considered. During the period of intensive fishing, the proportion of younger fish did not change, and the number of older fish increased. It is shown that large-scale fishing in 2013–2019 does not have a significant negative impact on the state of the Gizhiga-Kamchatka herring population, as evidenced by its age and size indicators. It was found that the transfer of Gizhiga-Kamchatka herring from one category of fishing to another contributed to a significant increase in the annual catch of this object. Due to the fact that large-scale fishing of this object is planned to continue, it is recommended not to stop observing the biological indicators of the Gizhiga-Kamchatka herring in the future.

Keywords: Gizhiga -Kamchatka herring, age, size, fishing, West Kamchatka fishing subzone

В морях Дальнего Востока тихоокеанская сельдь является одним из наиболее важных объектов промысла [1, 2]. Локальное морское стадо тихоокеанской сельди,

которое живет в восточной части Охотского моря, в Западно-Камчатской промысловой подзоне, далее – ЗК, называется гижигинско-камчатская сельдь. Районы основного

нереста этой сельди расположены на побережье Гижигинской губы зал. Шелихова и, локальные, на побережье Западной Камчатки [3]. Нагул проходит в восточной и северо-восточной частях Охотского моря [4].

Промысел этой сельди начался в первой половине 1920-х гг. в зал. Шелихова [5].

В последующие годы эту сельдь добывали с различной степенью интенсивности. Максимальный годовой вылов был в 1958 г. и составил 161 тыс. т [6].

С 1974 по 1988 гг. промысел этой сельди был запрещен, так как ее численность значительно понизилась [7].

В 1993–2011 гг. гижигинско-камчатскую сельдь ловили не значительно, в год – от 4,8 до 14,1% от рекомендованных объемов.

С 2012 г. ее добыча стала осуществляться в режиме ВВ, т.е. возможного вылова (сейчас этот термин называется РВ – рекомендованный вылов), что позволило расширить круг рыбодобывающих компаний, ведущих промысел.

В 2012 г. годовой вылов увеличился в 7 раз, по сравнению с 2011 г. и была освоена почти половина рекомендованных объемов. В последующие годы объемы, рекомендованные к вылову, осваивались полностью [8].

В настоящее время промысел гижигинско-камчатской сельди осуществляется в 3 этапа: в январе-апреле (зимовальная и преднерестовая сельдь), в мае (нерестовая сельдь) и в сентябре-декабре (нагульная сельдь) [9].

С 2012 г., после перехода на промысел этого объекта в режиме РВ, преобладающее изъятие осуществляется в январе-апреле [10], причем в последние годы почти весь объем вылова приходится на март-апрель (от 99,5% в 2015 г. до 100% – в 2013, 2014, 2019 гг.).

Цель исследования: выявить особенности промысла тихоокеанской сельди в Западно-Камчатской промысловой подзоне Охотского моря в марте-апреле 2012–2019 гг. Сравнить возрастные и размерные показатели сельди в периоды с различной интенсивностью освоения запаса. Выяснить, не повлиял ли негативно интенсивный промысел на состояние стада сельди.

Материалы и методы исследования

Основой для настоящей работы послужили: информация лаборатории морских рыбных, прибрежных биоресурсов и мониторинга промысла ВБР Магаданского филиала ФГБНУ ВНИРО («МагаданНИРО»), подготовленная по судовым суточным донесениям (ССД), а также сведениям, посту-

павшим от научных наблюдателей, находящихся на промысловых судах в Охотском море, и членов координационной группы Росрыболовства по оперативному регулированию промысла минтая и других объектов промысла в Охотском море. Использованы многолетние биологические материалы, в объеме 83268 экз., собранные сотрудниками МагаданНИРО в марте-апреле 1998–2011 и 2013–2019 гг. из уловов промысловых судов, осуществлявших промысел сельди в ЗК (в устье зал. Шелихова и прилегающих водах Охотского моря).

Результаты исследования и их обсуждение

В марте-апреле 1998–2011 гг. в ЗК масштабного промысла сельди не было, изъятие составляло от 0,1 до 3,1% рекомендованного.

В 2012 г. в этот период было выловлено 21,78 тыс. т (43,6% возможного вылова). В последующие годы был развернут широкомасштабный промысел, и мы рассмотрим его ход более подробно.

В 2013–2019 гг. в ЗК в **марте** промысел сельди вели от 1 до 17 (2017 г.) судов крупнотоннажного флота (далее – КТФ) и от 1 до 7 (2018 г.) судов среднетоннажного флота (далее – СТФ).

Лов в среднем велся в районе 58°00′ – 58°30′ с.ш. между 153°45′ – 157°30′ в.д.

Суда вели промысел на изобатах от 100 до 560 м.

В среднем за март в ЗК флотом было отработано 94 судосутки (при минимуме в 40 судосутки (2017 г.) и максимуме в 164 судосутки (2018 г.), выполнено 201 траление (при минимуме в 77 (2017 г.) и максимуме в 299 (2014 г.), добыто 6,397 тыс. т сельди (при минимуме в 1,907 тыс. т (2017 г.) и максимуме в 10,493 тыс. т (2014 г.).

У КТФ средний вылов на судосутки составил 66 т, при минимуме в 32,6 т (2018 г.) и максимуме в 92 т (2013–2014 гг.), на траление – 28 т, при минимуме в 21,4 т (2018 г.) и максимуме в 32,3 т (2013 г.); у СТФ средний улов на судосутки составил 97 т, при минимуме в 55,1 т (2018 г.) и максимуме в 138,9 т (2013 г.), на траление – 51 т, при минимуме в 32,3 т (2018 г.) и максимуме в 62 т (2013 г.). Средний улов на судосутки по флоту по всем судам за месяц составил 71 т, при минимуме в 47 т (2018 г.) и максимуме в 96,1 т (2013 г.), на траление – 31 т (при минимуме в 24,8 т (2017 г.) и максимуме в 35,1 т (2014 г.).

На местоположение судов в различные годы влияла ледовая обстановка: в 2013–2014 гг. флот работал юго-восточнее, в районе с центральными координатами 58° с.ш., 154° в.д., ввиду наличия полей льда на севе-

ре, в 2016–2019 гг. лед был более разреженным и позволил судам работать севернее, в районе $58^{\circ}30' - 59^{\circ}30'$ с.ш., $155^{\circ} - 157^{\circ}$ в.д.

В 2013–2019 гг. в ЗК в **апреле** промысел сельди вели от 1 до 47 (2017 г.) судов КТФ и от 1 до 10 судов (2018 г.) СТФ.

Лов в среднем велся в районе $58^{\circ}00' - 59^{\circ}30'$ с.ш. между $154^{\circ}00' - 157^{\circ}45'$ в.д.

Суда вели промысел на изобатах от 90 до 485 м.

В среднем за апрель в ЗК флотом было отработано 613 судосуток (при минимуме в 407 судосуток (2016 г.) и максимуме в 775 судосуток (2018 г.), выполнено 1426 тралений (при минимуме в 932 (2016 г.) и максимуме в 1851 т (2017 г.), добыто 51,031 тыс. т сельди, при минимуме в 30,99 тыс. т (2015 г.) и максимуме в 77,346 тыс. т (2017 г.).

У КТФ средний вылов на судосутки составил 90 т, при минимуме в 55,6 т (2015 г.) и максимуме в 112,8 т (2014 и 2016 гг.), на траление – 36 т, при минимуме в 25,6 т (2015 г.) и максимуме в 47,3 т (2016 г.); у СТФ средний улов на судосутки составил 60 т, при минимуме в 22,4 т (2019 г.) и максимуме в 95,8 т (2017 г.), на траление – 38 т, при минимуме в 15,1 т (2018 г.) и максимуме в 54 т (2017 г.). Средний улов на судосутки по флоту по всем судам за месяц составил 86 т, при минимуме в 54,8 т (2015 г.) и максимуме в 109,8 т (2016 г.), на траление – 36 т, при минимуме в 25,9 т (2015 г.) и максимуме в 46,9 т (2016 г.).

У СТФ в апреле, по сравнению с мартом, все показатели вылова снизились, так как в это время сельдь уже начинает двигаться на север, к нерестилищам, ее косяки становятся чрезвычайно подвижными, их сложно облавливать.

У КТФ в апреле, по сравнению с мартом, напротив, показатели вылова выросли, так как скорость этих судов позволяет облавливать подвижные косяки сельди, а плотность этих скоплений выше, чем в марте.

При анализе динамики уловов по годам, можно отметить, что в марте у КТФ максимальные показатели на судосутки лова и уловы на траление были в 2013 г., минимальные – в 2018 г. В этом же месяце у СТФ уловы на судосутки лова, как и вылов на траление, изменялись аналогично: максимум был в 2013 г., минимум – в 2018 г.

В апреле динамика промысловых показателей изменилась. У КТФ максимальные показатели на судосутки лова и уловы на траление были в 2016 г., минимальные – в 2015 г. У СТФ максимальные показатели на судосутки лова были в 2017 г., минимальные – в 2019 г., уловы на траление имели максимальное значение в 2017 г., минимальное – в 2018 г.

Следует добавить, что в 2013–2019 гг. промысел заканчивался в разные сроки: самое раннее окончание лова отмечено 20 апреля (2015 г.), когда, на основании Приказа Минсельхоза России № 495 от 10.12.2014 г., на промышленный лов тихоокеанской сельди был введен запрет с 1 января по 31 марта и с 21 апреля по 31 августа 2015 г. (за исключением рыболовства в научно-исследовательских и контрольных целях).

В 2016 г. лов продолжался весь апрель, а отдельные суда ловили до 12 мая, но в мае значительная часть косяков сельди уже сместилась ближе к берегу, готовясь к нересту, и была недоступна для облова, а плотность сельди в тех скоплениях, которые облавливались, изменилась, поэтому анализировать промысловые показатели флота за этот месяц и сравнивать их с данными за март и апрель мы считаем не корректным.

Для оценки влияния морского лова в марте-апреле на возрастной состав и размерный ряд преднерестовых скоплений гижигинско-камчатской сельди, мы сравнили данные за 1998–2011 гг., когда лов был незначительным, и материалы 2013–2019 гг., в период прохождения масштабного промысла.

У гижигинско-камчатской сельди в рассматриваемые периоды возрастной состав несколько изменился: доля рыб в возрасте 3–5 лет в 2013–2019 гг., как и в 1998–2011 гг., составляла 12%. Количество рыб средних возрастов (6–8 лет) уменьшилось с 56 до 39%. Доля старшевозрастных рыб возросла с 32 до 49%. Средний возраст увеличился незначительно, с 7,7 до 8,3 лет (табл. 1).

Состояние запаса показывает и соотношение тех или иных размерных групп рыб в стаде.

В период масштабного лова доля рыб с длиной тела до 25,5 см по Смитту уменьшилась с 16 до 12%, количество рыб средних размеров также несколько снизилось, с 59 до 51%, а доля крупноразмерных рыб (более 29,5 см по Смитту), напротив, увеличилась с 25 до 36%. Средняя длина сельди при этом выросла с 27,9 до 28,6 см (табл. 2).

Н.И. Науменко [3] показал, что для дальневосточных сельдей интенсивная эксплуатация рыб приводит к уменьшению средних размеров и возраста рыб, а также значительному сокращению численности рыб старшего возраста и росту количества молодых особей.

У анализируемой нами гижигинско-камчатской сельди в период масштабного промысла таких изменений не наблюдается. Видимо, значительный промысел 2013–2019 гг. не повлиял на биологические показатели (возраст и размер тела) гижигинско-камчатской сельди.

Таблица 1

Возрастной состав преднерестовых скоплений гижигинско-камчатской сельди в периоды с различной интенсивностью освоения запаса, %

Период, годы	Возраст, лет														Среднее значение, лет
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1998–2011	2,7	2,7	6,9	19,6	22	14,2	11,1	10,5	4,2	2,7	2,4	0,6	–	0,3	7,7
2013–2019	1,8	3,9	6,2	12,1	12,4	14,5	15,7	14,8	11,0	5,4	1,7	0,3	0,1	–	8,3

Таблица 2

Вариационные ряды длины тела по Смитту преднерестовых скоплений гижигинско-камчатской сельди в периоды с различной интенсивностью освоения запаса, %

Пе- риод, годы				Длина по Смитту, в см																	Сред- нее значе- ние, см
	17,6–18,5	18,6–19,5	19,6–20,5	20,6–21,5	21,6–22,5	22,6–23,5	23,6–24,5	24,6–25,5	25,6–26,5	26,6–27,5	27,6–28,5	28,6–29,5	29,6–30,5	30,6–31,5	31,6–32,5	32,6–33,5	33,6–34,5	34,6–35,5	35,6–36,5	36,6–37,5	
1998– 2011			–	–	0,5	1,3	4,0	10,4	14,6	18,8	12,6	12,8	9,7	5,4	4,4	3,7	1,3	0,4	0,1		27,9
2013– 2019	0,1	0,1	0,2	0,4	1,0	1,5	3,6	6,3	9,4	12,2	14,3	14,7	14,6	11,5	6,9	2,3	0,6	0,1	0,1	0,1	28,6

Выводы

Ведение промысла гижигинско-камчатской сельди в режиме рекомендованного вылова значительно увеличило ее освоение (от 14 % в режиме ОДУ до 100 % – в режиме РВ).

Промысловые показатели флота, в среднем, были выше в первые годы промысла. В апреле, по сравнению с мартом, показатели крупнотоннажного флота возрастали, а среднетоннажного – снижались, что связано с увеличением подвижности косяков сельди и изменением их плотности в апреле.

Значительный промысел 2013–2019 гг. не повлиял на биологические показатели (возраст и размер тела) гижигинско-камчатской сельди.

В связи с тем, что масштабный лов этого объекта планируется продолжать, в дальнейшем необходимо не прекращать наблюдений за биологическими показателями гижигинско-камчатской сельди.

Список литературы

1. Антонов Н.П., Датский А.В., Мазникова О.А., Митенкова Л.В. Современное состояние промысла тихоокеанской сельди в дальневосточных морях // Рыбное хозяйство. 2016а. № 1. С. 54–58.
2. Антонов Н.П., Кловач Н.В., Орлов А.М., Датский А.В., Лепская В.А., Кузнецов В.В., Яржомбек А.А., Абрамов А.А., Алексеев Д.О., Моисеев С.И., Евсеева Н.А.,

Сологуб Д.О. Рыболовство в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2013 г. // Труды ВНИРО. 2016б. Т. 160. С. 133–211.

3. Науменко Н.И. Биология и промысел морских сельдей Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2001. 330 с.

4. Правоторова Е.П. О районах нагула гижигинско-камчатского стада сельди // Рыбное хозяйство. 1963. № 12. С. 14–17.

5. Бацаев И.Д. История развития рыбных промыслов и рыбной промышленности Притауйского района Магаданской области // Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 204–225.

6. Смирнов А.А., Трофимов И.К. Краткая характеристика промысла гижигинско-камчатской сельди // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 3. С. 99–102.

7. Овчинников В.В., Смирнов А.А., Волобуев В.В., Голованов И.С., Коршукова А.М., Панфилов А.М., Прикоки О.В. Основные промысловые рыбы Магаданской области: биология, экология, запасы и их освоение. Владивосток: Дальпресс, 2018. 156 с.

8. Смирнов А.А. Изменения биологических показателей преднерестовых скоплений гижигинско-камчатской сельди в условиях возобновления масштабного промысла в 2013–2015 гг. // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–20. С. 4426–4429.

9. Овчинников В.В., Волобуев В.В., Голованов И.С., Коршукова А.М., Панфилов А.М., Прикоки О.В., Смирнов А.А. Динамика запасов и вылова основных промысловых рыб Магаданской области // Вопросы рыболовства. 2018. Т. 19. № 1. С. 5–19.

10. Овчинников В.В., Смирнов А.А., Омеленко Ю.В., Елатинцева Ю.А. Особенности промысла тихоокеанской сельди (*Clupea pallasii*) в январе-апреле 2018 г. в северной части Охотского моря // Рыбное хозяйство. 2018. № 4. С. 56–60.

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ УЧАЩИХСЯ ШКОЛ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ С РАЗНОЙ ФОРМОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Ураимова А.А., Касымов О.Т.

*Научно-производственное объединение «Профилактическая медицина», Бишкек,
e-mail: ualtyna@mail.ru*

Антропометрические показатели являются важнейшим индикатором исследования соответствия физического развития возрастным нормативам и их отклонения могут быть связаны не только с факторами риска или признаками некоторых заболеваний, но и качеством питания. Известно, что рациональное, здоровое питание обеспечивает гармоничный рост и развитие детей, предупреждает развитие заболеваний, повышает умственную и физическую работоспособность. По данным углубленного медицинского осмотра в Кыргызской Республике ежегодно регистрируется до 10 тысяч детей с физическим отставанием. В связи с этим проведено обследование антропометрических показателей 2110 учащихся школ Чуйской области Кыргызской Республики с целью оценки физического развития учащихся 1–4 классов школ сельской местности с разной формой организации общественного питания. Наряду с оценкой физического развития и проведен сравнительный анализ антропометрических данных учащихся школ с разной формой организации школьного питания. Полученные результаты показали, что среди обследованных детей – 12,3 % (259) с признаками отставания в физическом развитии, ретардантов в 1,7 раз больше среди учащихся с обеспечением школьного питания в виде экспресс завтрака (выдача булочки и стакан молока или приравненных к ним продуктов питания) по сравнению со школьниками, обеспеченными горячим питанием. Изученные данные антропометрических показателей использованы в обосновании проекта программы развития школьного питания в Кыргызской Республике.

Ключевые слова: антропометрические показатели, физическое развитие, длина и масса тела, окружность грудной клетки, питание, школьники

ASSESSMENT OF PHYSICAL DEVELOPMENT OF RURAL SCHOOL STUDENTS WITH DIFFERENT FORMS OF PUBLIC FOOD SERVICE

Uraimova A.A., Kasymov O.T.

Scientific and Production Centre for Preventive Medicine, Bishkek, e-mail: ualtyna@mail.ru

Anthropometric indicators are the most important indicator of the study of the conformity of physical development with age standards and their deviations can be associated not only with risk factors or signs of certain diseases, but also with the quality of nutrition. It is known that a rational, healthy diet provides harmonious growth and development of children, prevents the development of diseases, increases mental and physical performance. According to an in-depth medical examination in the Kyrgyz Republic, up to 10 thousand children with physical disabilities are registered annually. In this regard, in order to assess the physical development of students in grades 1–4 of rural schools with different forms of catering, an anthropometric study of 2110 students in schools of the Chui region of the Kyrgyz Republic was conducted. The assessment of physical development is given and a comparative analysis of the anthropometric data of schoolchildren with different forms of organization of school feeding is carried out. It was found that among the study children 12.3 % (259) who had signs of retardation in physical development, the number of retardants were by 1.7 times more among students with school meals as express breakfast (a bun and a glass of milk or foods equivalent to them) than those students receiving hot meals. The data of anthropometric studies were used to compose the draft program for the development of school nutrition in the Kyrgyz Republic.

Keywords: anthropometric indicators, physical development, length and body weight, chest circumference, nutrition, schoolchildren

Здоровье детей – самое большое богатство любого государства. Одним из важных показателей состояния здоровья организма является физическое развитие. Именно развитие в детском возрасте определяет основные черты здоровья данного поколения в старших возрастах. В последние десятилетия опубликован ряд работ, посвященных изучению физического развития детей и подростков в связи с факторами среды обитания [1–3]. Физическое развитие и здоровье детей зависит от множества факторов: наследственности, климата, уровня материальной обеспеченности семьи, полноценно-го рационального питания [4–6].

Цель работы: изучение и оценка физического развития учащихся 1–4 классов школ сельской местности с разной формой организации общественного питания и их сравнительный анализ.

Материалы и методы исследования

Проведено измерение антропометрических данных 2110 учащихся 1–4 классов школ с разной формой организации общественного питания. Для этой цели в равном количестве выбраны школьники Кеминского района с обеспечением горячим питанием (1 группа), а также для контрольной группы – учащиеся Чуйского района с обе-

спечением школьного питания в виде экспресс завтрака с выдачей булочки и стакан молока или приравненных к ним продуктов питания (2 группа).

Методы исследования антропометрических показателей 1 и 2 модельных групп указаны в табл. 1.

Длину тела измеряли при помощи стационарного антропометра. Массу тела определяли при помощи взвешивания на электронных весах и окружность грудной клетки измеряли прорезиненной лентой [7].

Обследование начинали с установления календарного (хронологического) возраста каждого ребенка на момент обследования путем сопоставления даты рождения и даты обследования, затем формировали возрастные группы (табл. 2).

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам наших исследований детей 1 группы, средняя арифметическая взвешенная роста мальчиков 7 лет, составила 119,66 см (2 группы – 117,63 см), 10 летних – 134,86 см (2 группы – 134,62 см),

а у девочек 1 группы этих же возрастных групп – 118,81 см, 2 группы – 119,05 см соответственно у 10 летних детей обеих групп – 133,91 (табл. 3).

Наибольшее колебание длины тела мальчиков 1 группы наблюдалось в 7 лет, со средней арифметической – 119,66 см, (2 группы – 117,63 см). При статистической обработке данных роста – возрастных групп мальчиков 6-11 лет установлено, в 1 группе минимальное колебание показателей роста отмечается в 6 лет (14 см), максимальное в 7 лет (34 см), в 2 группе – в 7 лет (70 см). При определении степени разности ростовых показателей в 1 группе установлено колебание слабой степени, что величины сигмальных отклонений составляют $4,23 \pm 0,88$ в 6 лет и $6,06 \pm 1,29$ в 11 лет, а во 2 группе – при определении разности ростовых показателей обнаружено колебание высокой степени, о чем свидетельствуют величины сигмальных отклонений ($11,64 \pm 1,09$ в 7 лет и $11,34 \pm 0,99$ в 8 лет).

У девочек 2 группы между максимальными и минимальными показателями выявлена разность высокой степени – от 13,5 см в 6 лет до 72 см в 8 лет.

Таблица 1

Выборка и методы анализа физического развития

Материалы	Выборка			Методы анализа данных
Физическое развитие учеников младших классов	1 группа (Кеминский район)	2 группа (Чуйский район)	Всего	Антропометрический математический, медико-статистический
	1055 детей	1055 детей	2110 детей	

Таблица 2

Возрастно-половая структура обследованных контингентов детей

Возрастная и половая структура обследованных контингентов детей 1 группы (Кеминский район)							
Возраст Пол	6 лет	7 лет	8 лет	9 лет	10 лет	11 лет	Всего
Мальчики	23	129	123	126	120	22	543
%	41,1	54,4	48,8	48,3	55,8	64,7	51,5
Девочки	33	108	129	135	95	12	512
%	58,9	45,6	51,2	51,7	44,2	35,3	48,5
Всего	56	237	252	261	215	34	1055
Возрастная и половая структура обследованных контингентов детей 2 группы (Чуйский район)							
Возраст Пол	6 лет	7 лет	8 лет	9 лет	10 лет	11 лет	Всего
Мальчики	19	114	133	142	109	10	527
%	43,2	48,3	46,5	51,1	56,8	52,6	49,95
Девочки	25	122	153	136	83	9	528
%	56,8	51,7	53,5	48,9	43,2	47,4	50,05
Всего	44	236	286	278	192	19	1055

Таблица 3

Статистические параметры длины тела детей от 6 до 11 лет (n 2110; см, %)

1 группа – Кеминский район (n = 1055)							
Пол:	Возраст, годы	n	Min	Max	M	$\sigma \pm m$	V
Мальчики (n = 543)	6	23	110	124	115	$4,23 \pm 0,88$	0,20155
	7	129	104	138	119,66	$5,47 \pm 0,48$	0,42618
	8	123	112	138	124,45	$5,34 \pm 0,48$	0,41908
	9	126	115,5	144	129,58	$5,13 \pm 0,46$	0,42259
	10	120	124	151	134,86	$5,65 \pm 0,52$	0,41541
	11	22	125	151	136,66	$6,06 \pm 1,29$	0,19739
Девочки (n = 512)	6	33	100,75	130	114,99	$5,81 \pm 1,01$	0,2459
	7	108	103,5	133	118,81	$5,38 \pm 0,52$	0,4085
	8	129	105,5	139,5	123,65	$5,85 \pm 0,52$	0,4348
	9	135	114	146	128,61	$5,99 \pm 0,52$	0,4413
	10	95	124	152,5	133,91	$6,01 \pm 0,62$	0,3876
	11	12	132	149	138,95	$4,99 \pm 1,44$	0,1514
2 группа – Чуйский район (n = 1055)							
Мальчики (n = 527)	6	19	110	136	120,84	$5,82 \pm 1,33$	0,1866
	7	114	66	136	117,63	$11,64 \pm 1,09$	0,4129
	8	133	72	140	123,87	$11,34 \pm 0,99$	0,4368
	9	142	75	143	128,9	$6,96 \pm 0,58$	0,4446
	10	109	124	148	134,62	$7,71 \pm 0,74$	0,405
	11	10	127	150	135,25	$7,28 \pm 2,30$	0,1366
Девочки (n = 528)	6	25	108,5	122	115,74	$3,87 \pm 0,77$	0,2125
	7	122	75	132	119,05	$9,94 \pm 0,89$	0,4234
	8	153	66	138	122,63	$10,25 \pm 0,83$	0,4559
	9	136	119	165	129,09	$5,13 \pm 0,44$	0,4377
	10	83	121	172	133,91	$6,16 \pm 0,68$	0,3644
	11	9	121,5	145	133,56	$6,52 \pm 2,17$	0,1296

У мальчиков 2 группы среднее квадратическое отклонение нарастало от 5,82 см в 6 лет до 11,64 см в 7 лет, а в 1 группе всего лишь от 4,23 см в 6 лет до 6,06 см в 11 лет.

Следует отметить, что длина роста у детей 2 группы варьируется в довольно широких пределах. При этом наибольшая изменчивость роста отмечается у мальчиков в 7 лет, а у девочек в 8 лет, наименьшая – у детей обоего пола шестилетнего возраста.

Согласно А.Б. Ставицкой, Д.И. Арон (1959), М.Я. Студеникина и соавт. (1994) при оценке физического развития масса тела рассматривается в зависимости от длины тела [8, 9]. Средняя арифметическая массы тела у обследованных 7 летних мальчиков 1 группы составила 22,7 кг (2 группы – 22,6 кг), 10 летних – 30,8 кг (2 группы – 29,6 кг), 7 летних девочек 1 группы – 21,8 кг (2 группы – 21,6 кг), 10 летних – 30,2 (2 группы – 27,9) (табл. 4).

Вес девочек во всех возрастных группах, за исключением девочек 10 лет 2 груп-

пы оказался достоверно меньше ($p < 0,05$) веса мальчиков.

Среднее квадратическое отклонение веса у мальчиков 1 группы с возрастом увеличивается и достигает своего максимума в 10 лет.

У обоих полов 2 группы увеличение сигмы с возрастом идет неравномерно и достигает наибольшей величины в возрасте 10 лет, а в возрасте 7–8 лет снижается до 2,96 кг.

Размеры окружности грудной клетки зависит от телосложения ребенка и его физического развития [10, 11], так же служат показателем гармоничности ребенка [12].

Средняя арифметическая величина окружности грудной клетки в паузе (табл. 5) у обоих полов школьников младших классов с возрастом увеличилась. При этом окружность груди мальчиков 6–11 лет преобладала на соответствующими данными девочек тех же возрастов. Причем это разница достоверна с вероятностью более 99,6% ($p < 0,001$).

Таблица 4

Статистические показатели массы тела детей от 6 до 11 лет (кг, %)

1 группа – Кеминский район (n = 1055)							
Пол:	Возраст, годы	n	Min	Max	M	$\sigma \pm m$	V
Мальчики (n = 543)	6	23	18,55	27	21,5	$2,33 \pm 0,49$	0,2026
	7	129	16,8	43,2	22,71	$3,19 \pm 0,28$	0,4311
	8	123	18,3	34,35	24,72	$2,98 \pm 0,27$	0,4225
	9	126	18,45	39,15	27,28	$3,64 \pm 0,32$	0,427
	10	120	20,95	49	30,82	$5,51 \pm 0,50$	0,4233
	11	22	23,7	44,3	30,39	$4,48 \pm 0,95$	0,1994
Девочки (n = 512)	6	33	16,5	30,85	21,45	$3,11 \pm 0,54$	0,2483
	7	108	15,75	31,35	21,75	$2,58 \pm 0,25$	0,4116
	8	129	17,1	42	24,55	$3,91 \pm 0,34$	0,4415
	9	135	18,45	49,75	26,69	$4,42 \pm 0,38$	0,4488
	10	95	18,3	136,5	30,16	$4,79 \pm 0,49$	0,3935
	11	12	24,55	43	30,98	$5,09 \pm 1,47$	0,1534
2 группа – Чуйский район (n = 1055)							
Мальчики (n = 527)	6	19	18,10	29,15	22,72	$3,13 \pm 0,72$	0,1881
	7	114	16,70	46,80	22,60	$4,02 \pm 0,38$	0,4183
	8	133	16,20	35,45	24,17	$3,50 \pm 0,30$	0,4402
	9	142	18,95	39,95	26,39	$3,93 \pm 0,33$	0,4501
	10	109	19,55	52,00	29,55	$5,54 \pm 0,53$	0,4151
	11	10	24,40	36,25	27,94	$3,65 \pm 1,15$	0,1375
Девочки (n = 528)	6	25	16,95	27,25	20,54	$2,62 \pm 0,52$	0,2141
	7	122	14,9	33,65	21,63	$2,96 \pm 0,27$	0,4266
	8	153	14,9	42,1	23,71	$4,09 \pm 0,33$	0,463
	9	136	19,1	42,25	26,66	$3,90 \pm 0,33$	0,4436
	10	83	19,2	44	27,97	$4,65 \pm 0,51$	0,3699
	11	9	24,15	39,8	30,09	$5,20 \pm 1,73$	0,1314

У мальчиков 1 группы средняя арифметическая величина окружности грудной клетки в паузе колебалась от 57,9 см в 7 лет до 64,2 см в 10 лет, во 2 группе – этих же возрастных групп от 60,6 см до 66,3 см, а у девочек 1 группы от 56,4 см в 7 лет до 61,3 см в 10 лет (2 группы – от 59,2 до 64,1).

Увеличение объема окружности грудной клетки с возрастом происходит равномерно у детей обоих полов.

Рассмотрев вышеперечисленные признаки физического развития, отметим прямую взаимозависимость и взаимосвязь между ними. Об этом свидетельствует величины коэффициента (r). Взаимосвязь между признаками достоверно велика, причем, наибольшая зависимость отмечалась между ростом и весом. Коэффициент корреляции достоверен, так как он по всем корреляционным решеткам значительно (более чем 3 раза) превышает свою ошибку.

По результатам наших исследований физическое развитие школьников начальных классов в целом можно считать сред-

ним детей с. Дон-Арык Чуйского района. Среди 22 детей в возрасте 7 и 8 лет (10 девочек и 12 мальчиков) с. Дон-Арык выявлено резкое отставание в физическом развитии детей, рост у которых ниже границы сигмальных отклонений (ниже $M-2.01\sigma$) и колеблется от 66 см до 79 см при норме среднего роста девочек 7 лет от 115 см до 125 см, 8 лет – 118–130 см и мальчиков 7 лет от 116 до 126 см, 8 лет – 120–130 см (табл. 6).

Среди мальчиков в возрасте от 6 до 11 лет 1 группы 79,7% детей имело гармоничное физическое развитие, а в Чуйском районе – 76,8%, что в 1 группе на 2,9% гармонично развитых мальчиков больше, чем мальчиков 2 группы.

Среди мальчиков 1 группы отставание в физическом развитии (ретардация) наблюдалась в возрастных группах 6 и 11 лет, соответственно в 30,4% и 18,2%.

Опережение физического развития сравнительно больше наблюдалось среди мальчиков в возрасте 6 и 10 лет, соответственно 34,8% и 13,3% (рис. 1).

Таблица 5

Статистические показатели окружности грудной клетки детей от 6–11 лет (см, %)

1 группа – Кеминский район (n = 1055)							
Пол:	Возраст	n	Min	Max	M	$\sigma \pm m$	V
Мальчики (n = 543)	6	23	52	61	57	$2,38 \pm 0,49$	0,2016
	7	129	52	73	57,89	$2,89 \pm 0,25$	0,4263
	8	123	52	69	59,63	$2,79 \pm 0,25$	0,4192
	9	126	56	73	61,3	$2,98 \pm 0,27$	0,4228
	10	120	56	79	64,21	$15,65 \pm 0,52$	0,4163
	11	22	60	78	63,86	$4,04,61 \pm 0,42$	0,1976
Девочки (n = 512)	6	33	52	63	56,67	$5,81 \pm 1,01$	0,2459
	7	108	35	64	56,35	$6,81 \pm 0,66$	0,4085
	8	129	51	76	58,46	$7,81 \pm 0,69$	0,4348
	9	135	54	80	59,94	$8,81 \pm 0,76$	0,4413
	10	95	53	76	61,29	$9,81 \pm 1,01$	0,3876
	11	12	58	75	62,67	$10,81 \pm 3,12$	0,1514
2 группа – Чуйский район (n = 1055)							
Мальчики (n = 527)	6	19	57,00	68,00	61,21	$2,93 \pm 0,67$	0,1865
	7	114	53,00	80,00	60,55	$3,65 \pm 0,29$	4111
	8	133	54,00	73,00	62,05	$3,45 \pm 0,29$	0,435
	9	142	56,00	75,00	63,89	$3,57 \pm 0,29$	0,4444
	10	109	58,00	89,00	66,27	$5,62 \pm 0,54$	0,4079
	11	10	63,00	74,00	65,50	$3,20 \pm 1,01$	0,1365
Девочки (n = 528)	6	25	55	69	59,04	$3,18 \pm 0,64$	0,2127
	7	122	52	73	59,16	$3,36 \pm 0,30$	0,4224
	8	153	50	80	61,07	$4,44 \pm 0,36$	0,4553
	9	136	55	88	63,69	$4,69 \pm 0,40$	0,4289
	10	83	57	80	64,05	$4,29 \pm 0,47$	0,3649
	11	9	61	75	67	$4,78 \pm 1,59$	0,1298

Таблица 6

Показатели физического развития детей с. Дон-Арык Чуйского района с резким физическим отставанием

Возраст, годы	Кол. детей	Мальчики		Девочки	
		рост	вес	рост	вес
6–7	16	от 66 до 76	от 17 до 21	от 66 до 77	от 17 до 20
8	5	от 74 до 79	от 19 до 22	78	18
9	1	75	18	–	–

Среди девочек 1 группы отставание в физическом развитии (ретардация) наблюдалась в возрастных группах 6, 10 и 11 лет показатель, в среднем, составил 25,2 %.

Опережение физического развития сравнительно больше наблюдалось среди девочек в возрасте 6 и 8 лет, соответственно 18,9% и 12,4% (рис. 2).

По Чуйскому району (2 группа) среди мальчиков в этих же возрастных группах

ретардация наблюдалась в 1,6 раза больше, чем у мальчиков Кеминского района (1 группа), а акселерация на 3,9 раза меньше. Процент мальчиков, отстающих в физическом развитии, составил 14,04%, а акселераты – 2,85% (рис. 3).

Среди девочек 2 группы 74,6% имело гармоничное физическое развитие, а в 1 группе – 79,1%, что на 4,5% меньше гармонично развитых девочек 2 группы, чем девочек 1 группы (рис. 4).

Кемин - мальчики

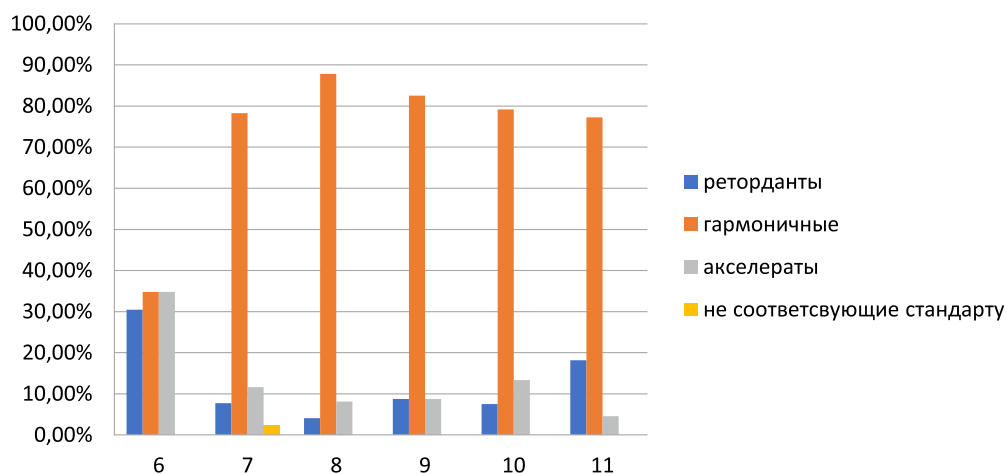


Рис. 1. Характеристика физического развития мальчиков 1 группы

Кемин - девочки

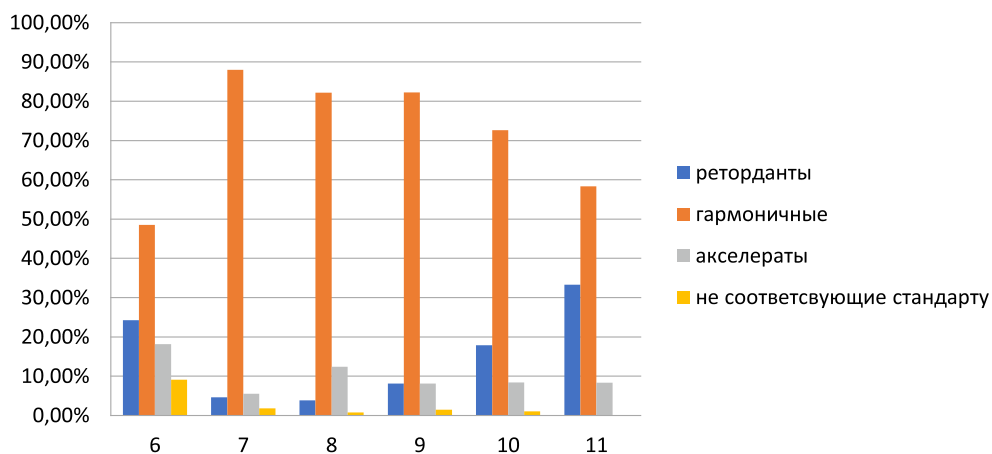


Рис. 2. Характеристика физического развития девочек 1 группы

Чуй - мальчики

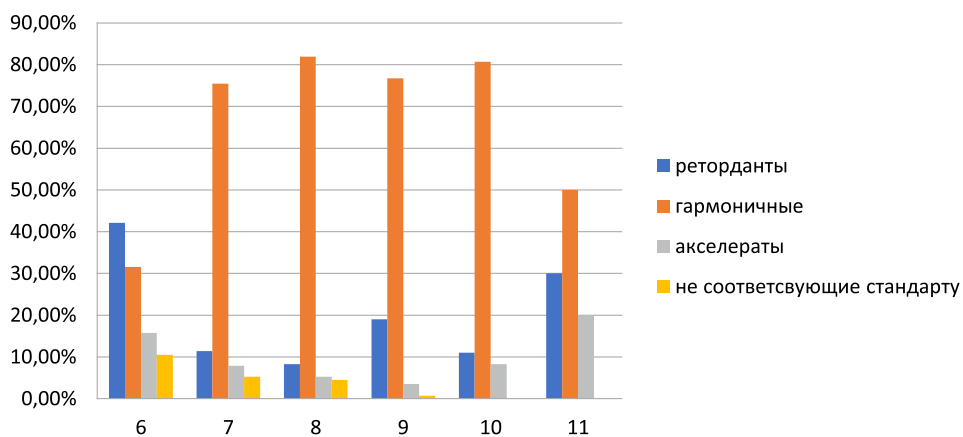


Рис. 3. Характеристика физического развития мальчиков 2 группы

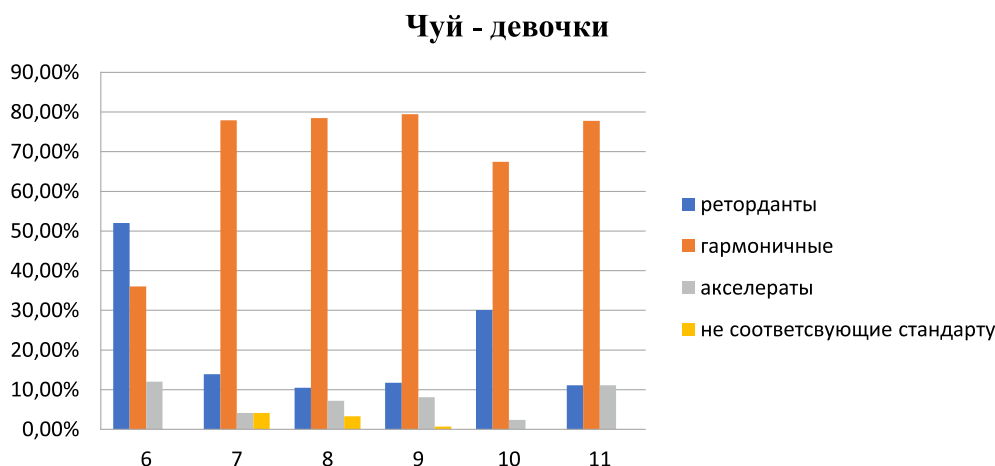


Рис. 4. Характеристика физического развития девочек 2 группы

Заключение

Таким образом, физическое развитие школьников обоего пола характеризуется достоверным увеличением роста и окружности грудной клетки. Изменения, затрагивающие рост и обхватные параметры, приводят к явной астенизации телосложения.

Однако обращает внимание ухудшение показателей физического развития детей пилотных районов. Выявлено, что среди обследованных детей 12,3% (259) с признаками отставания в физическом развитии, в том числе в 1 группе – их 96, а в 2 группе – 163, что ретордантов во 2 группе в 1,7 раза больше, чем в 1 группе.

В целом, среди мальчиков 6–11 лет 1 группы 79,7% детей имело гармоничное физическое развитие, а среди девочек – 79,1%, так же во 2 группе среди мальчиков 76,47% имело гармоничное физическое развитие, а среди девочек – 74,62%. Таким образом, физическое развитие школьников младших классов с обеспечением школьного питания в виде экспресс завтрака с выдачей булочки и стакан молока или приравненных к ним продуктов питания (2 группа) достоверно ниже, чем росто-весовые показатели школьников с обеспечением горячего питания (1 группа).

Список литературы

1. Кононец И.Е., Адаева А.М., Уралиева Ч.К. Особенности физического развития современной популяции детей

и подростков Бишкека // Здоровоохранение Кыргызстана. 2011. № 3. С. 67–69.

2. Кочкорова Ф.А., Атамбаева Р.М., Касымов О.Т., Особенности физического развития детей и подростков школьного возраста, проживающих в условиях высокогорья Кыргызской Республики // Гигиена и санитария. 2019. № 5. С. 520–526.

3. Эрбаев А.Т. Оценка физического развития курсантов военного лица им. Д. Асанова с использованием расчетных индексов // Здоровоохранение Кыргызстана. 2018. № 4. С. 40–44.

4. Сетко И.М., Сетко Н.П. Современные проблемы состояния здоровья школьников в условиях комплексного влияния факторов среды обитания // Оренбургский медицинский вестник. 2018. № 2. С. 4–13.

5. Кучма В.Р., Сухарева Л.М. Санитарно-эпидемиологическое благополучие детей и подростков в современных условиях: проблемы и пути решения // Здоровье населения и среда обитания. 2012. № 8. С. 4–6.

6. Онищенко Г.Г. Актуальные задачи гигиенической науки и практики в сохранении здоровья населения // Гигиена и санитария. 2015. № 3. С. 5–10.

7. Мануева Р.С. Физическое развитие детей и подростков. Показатели. Методы оценки: учебное пособие. Иркутск, 2018. 52 с.

8. Ставицкая А.Б., Арон Д.И. Методика исследования физического развития детей и подростков. М.: Медгиз, 1959. 75 с.

9. Студеникин М.Я. Справочник педиатра. М.: Эллис Лак, 1994. 400 с.

10. Ачкасов Е.Е., Руненко С.Д., Султанова О.А., Машковский Е.В. Врачебный контроль в физической культуре: учебное пособие. М.: ГЕОТАР – Медиа, 2019. С. 20–33.

11. Рахимов М.И. Показатели физического развития детей и подростков 5–16 лет // Вестник ТГТТУ. 2011. № 2 (24). С. 57–89.

12. Мануйленко Ю.И., Грехова Ю.А. Стандарты физического развития школьников как основные критерии оценки их здоровья // Вестн. КРСУ. 2015. Т. 15. № 4. С. 76–79.

СТАТЬИ

УДК 504.06:551.4

РИСКИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СЕВЕРЕ (АРКТИКЕ)

¹Ткачев Б.П., ²Кунин С.А.

¹Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, e-mail: btkachev@mail.ru;

²Тазовская средняя общеобразовательная школа, п. Тазовский, e-mail: kunin_taz@mail.ru

Статья посвящена множественной оценке рисков геоморфологических процессов на Севере (Арктике). Речные бассейны становятся наиважнейшим объектом изучения Арктики, а геоморфологические риски наиболее обоснованно оценивать в рамках речных систем. В статье анализируются особенности береговых деформации и режима твердого стока рек Арктического бассейна. Установлено уменьшение размыва берегов рек севера Западной Сибири, при одновременном увеличении стока твердых наносов и мутности рек. Быстрое таяние вечной мерзлоты в Арктике в результате потепления также выступает как фактор риска, таяние приводит к рискам за счет интенсивно протекающих эрозийных процессов (термокарста, абразии, суффозии и др.), размыва берегов, разрушения мостов, обмеления рек, просадки бугров пучения. Таяние обусловлено как снижением температуры зимой, так и увеличением числа жидких осадков летом. Интенсивность таяния в населенных пунктах выше, из-за их тепляющего воздействия. Полевое изучение термокарстовых озер подтвердило идеи А.А. Земцова о сложении котловин и позволило дополнить её фактами вращения воды в озерах, что объясняет округлую форму котловин. Разработанная Б.П. Ткачевым гипотеза преобразования котловин термокарстовых озер и гидродинамическая гипотеза образования устьевых воронок объясняет риск геоморфологических процессов в устьевых зонах рек севера Западной Сибири. Особенно сложные геоморфологические условия сложились в Тазовской губе, где судоходный форватер заполняется твердыми взвешенными частицами рек и оврагов. С 2015 г. навигация в Тазовской губе затруднена. В результате сформулирован вывод о том, что бассейны великих сибирских рек являются «тыловой зоной» Арктики, а геоморфологические процессы носят интенсивный характер, что необходимо учитывать в хозяйственной освоении Севера (Арктики).

Ключевые слова: Арктика, риски, бассейн, устье реки, вечная мерзлота, термокарст

RISKS OF GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN THE NORTH (ARCTIC)

¹Tkachev B.P., ²Kunin S.A.

¹Yugra State University, Khanty-Mansiysk, e-mail: btkachev@mail.ru;

²Tazovsky Secondary General Education School, Tazovsky, e-mail: kunin_taz@mail.ru

The article is devoted to multiple risk assessment of geomorphological processes in the North (Arctic). River basins are becoming the most important object for studying the Arctic, and geomorphological risks are most reasonably assessed within the framework of river systems. The article analyzes the features of coastal deformation and solid flow regime of rivers in the Arctic basin. A decrease in the erosion of river banks in the North of Western Siberia, while increasing the flow of solid sediments and turbidity of rivers, was found. Rapid melting of permafrost in the Arctic as a result of warming also acts as a risk factor. melting leads to risks due to intensive erosion processes (thermokarst, abrasion, suffusion, etc.), erosion of banks, destruction of bridges, shallowing of rivers, subsidence of heave hills. Melting is caused by both a decrease in temperature in winter and an increase in the number of liquid precipitation in summer. The intensity of melting in localities is higher, due to their warming effect. Field study of thermokarst lakes confirmed A. A. Zemtsova's ideas about the addition of basins and allowed to Supplement it with the facts of rotation of water in lakes, which explains the rounded shape of the basins. The hypothesis of transformation of the basins of thermokarst lakes developed by B. Tkachev and the hydrodynamic hypothesis of formation of estuaries explains the risk of geomorphological processes in the estuaries of rivers in the North of Western Siberia. Particularly difficult geomorphological conditions have developed in the Taz Bay, where the navigable waterway is filled with solid suspended particles of rivers and ravines. Since 2015, navigation in the Taz Bay is difficult. As a result, the conclusion is formulated that the basins of the great Siberian rivers are the «rear zone» of the Arctic, and geomorphological processes are intensive, which must be taken into account in the economic development of the North (Arctic).

Keywords: Arctic, risks, basin, river mouth, permafrost, thermokarst

Зачастую понятие безопасность считается обратным риску. Оценка безопасности подразумевает характеристику риска и наоборот.

«В конце XX века в РФ началась смена парадигм безопасности от детерминированной (обоснованной на системе постоянных безопасных порогов, как правило, предельно допустимых концентраций, доз, уровней воздействия) к вероятностной, основанной

на оценке множества рисков. Смена парадигм безопасности особенно ярко проявляется в условиях Северных и Арктических регионов России» [1, с. 441].

«Под геоморфологической безопасностью следует понимать состояние социально-геоморфологических систем, отражающее степень эффективности их функционирования (в частности, природопользования) с точки зрения свойств рельефа» [2, с. 74].

Примерами детерминированной парадигмы служит разработанная методика комплексной целевой оценки рельефа, которая основывается на зависимости геоморфологических процессов от условий его развития [3], а также методика оценки комплексной геоморфологической безопасности территории методом логарифмического масштабирования [4].

Эти методики представляют интерес в условиях отсутствия информации о распространении и величине геоморфологических процессов. В тех случаях, когда мы имеем возможность провести наблюдения, объективность оценки геоморфологической безопасности территории возрастает. С учетом специфики Севера и Арктики общей методической базой статьи может стать классификация опасных геоморфологических процессов, представленная в работе С.Б. Кузьмина [5]. Примеры региональных исследований по геоморфологическим рискам приведены в статьях В.И. Готванского, Е.В. Лебедевой [6] и Э.А. Лихачевой и др. [7].

Однако оценка множества рисков геоморфологических процессов применительно к Северу и Арктике осталась вне сферы современных исследований. Именно в этом авторы видят актуальность статьи.

Цель работы: выявление множества рисков геоморфологических процессов Арктического бассейна. Достижение цели опирается на решение следующих задач:

1. Анализ особенностей береговых деформаций и режима твердого стока рек Арктического бассейна.
2. Быстрое таяние вечной мерзлоты в Арктике как фактор риска.
3. Гидродинамическая гипотеза преобразования котловин термокарстовых озер.
4. Особенности риска геоморфологических процессов в устьевых зонах великих рек Сибири.

*Особенности береговых деформаций
и режима твердого стока рек
Арктического бассейна*

Бассейн реки включает в себя систему геоморфологических процессов, продуцирующую под действием текущих вод различные формы глубинной и боковой эрозии. Следует выделить ведущие географические факторы, определяющие береговые деформации: особенности происхождения предельно равнинного рельефа Западно-Сибирской равнины, центростремительный тип речной сети центральной части Обь-Иртышского бассейна, а также антропогенные изменения русел ряда рек.

Реки Обь-Иртышского бассейна из-за предельно равнинного рельефа имеют низкие скорости движения воды (ряд из них стали рекордсменами в мире по коэффициенту меандрирования). Поэтому для региона характерны интенсивные береговые деформации и высокая мутность рек. Объем стока р. Обь около 400 км³/год и уступает Енисею и Лене, твердый сток составляет 6,6 тыс. т с км² в год, превосходя Енисей.

На некоторых участках р. Оби, например, размыв берегов достигает 23–25 м/год [8] (рис. 1), а мутность р. Оби в среднем значительно превосходит мутность Енисея и Лены (табл. 1). Мутность р. Оби падает к низовьям из-за уменьшения скорости воды в русле.



Рис. 1. Размыв берега Оби у с. Селижнево в 2007 г.

Режим твердого стока Арктического бассейна представлен в табл. 1.

По данным А.А. Земцова наносы, переносимые Обью из областей повышенной эрозионной деятельности, аккумулируются в ее среднем и нижнем течении. Так, в среднем течении (от р. Томи до р. Иртыш), Обь отлагает около 13,2 млн т взвешенных наносов за год, или около 8,8 тыс. т на 1 км русла реки [10]. Для средней Оби и нижнего Иртыша характерна самая высокая транзитность взвешенных и влекомых наносов.

*Быстрое таяние вечной мерзлоты
в Арктике как фактор риска*

«При сохранении наблюдаемого с 1980 г. тренда на потепление климата Арктики будут упрощаться ледовые условия. Однако возрастут риски, связанные с усилением ветроволновой активности, с ростом уровня моря и оттаиванием вечномерзлых пород. Вследствие сложения ряда факторов усилятся разрушение льдистых и рыхлых берегов» [11, с. 17].

Ветроволновая абразия становится одним из значимых факторов разрушения берегов крупных рек, портовых сооружений, причалов и защитных сооружений, строящихся в Арктической зоне [12].

Таблица 1

Характеристики основных рек бассейна Северного Ледовитого океана [9]

Река/пункт	Период наблюдений, лет	Модуль стока взвешенных наносов, тыс. т с км ² в год	Площадь бассейна, тыс. км ²	Модуль жидкого стока, л/с с км ²
Обь/Салехард	29	6,6	2432	5,1
Обь/Белогорье	32	12	2165	4,8
Обь/Колпашево	28	33	486	8,6
Иртыш/Тобольск	38	10	969	2,1
Иртыш/Омск	21	14	321	2,9
Таз/Сидоровск	5	6,6	100	11
Пур/Самбург	25	7,2	95	8,9
Енисей/Игарка	10	4,9	2440	7,2
Енисей/Енисейск	20	9,2	1400	5,5
Лена/Кюсюр	11	9,0	2430	7,0
Лена/Табага	19	9,8	897	7,8
Маккензи	—	25	1770	—

Примечание: модули рассчитывались как среднемноголетние.

За последние десятилетия число дней с сильными морозами (-30°C и ниже) сократилось. Сильные морозы устанавливаются лишь на короткий интервал времени (до 3–5 суток), тогда как несколько десятилетий назад, они продолжались до месяца и более. В результате не происходит накопление холода, поверхностный слой мерзлоты тает (табл. 2). Наблюдения проводились в п. Тазовский Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО).

Таблица 2

Слой оттаявшей мерзлоты и средняя температура зимы

Год	Средняя температура зимы, $^{\circ}\text{C}$	Слой оттаявшей мерзлоты, см
2014	-28,6	140
2015	-24,4	160
2016	-16,1	200
2017	-17,6	240

Изучение таяния вечной мерзлоты в тундровой зоне проводилось в урочище Саякаптан (окрестности п. Тазовский). В основу обеих таблиц легли наблюдения метеостанции аэропорта Тазовский. Средние температуры зимы оценивались по температурам трех зимних месяцев. Было определено, что интенсивность таяния вечной мерзлоты зависит как от температуры зимы, так и от количества выпавших летних осадков (табл. 3).

В таблице указаны средние летние осадки за июнь, июль и август. В эти месяцы интенсивно тает верхний слой мерзлоты в тундре. Величина оттаявшего слоя

вечной мерзлоты замерялась проколами грунта металлическим щупом. Для получения репрезентативного результата полученные значения осреднялись. Таким образом, в тундре в отличие от поселка не наблюдается опасная деградация вечной мерзлоты, каждую зиму многолетняя мерзлота полностью восстанавливается.

Таблица 3

Зависимость таяния вечной мерзлоты от количества выпавших осадков

Год	Количество выпавших осадков, мм	Слой оттаявшей мерзлоты, см
2014	188	73
2015	208	84
2016	84	48
2017	283	88

«В ЯНАО идет интенсивная просадка бугров пучения. На основе натурных наблюдений удалось определить скорость просадок, составляющую 20–25 см в год» [11, с. 18]. Наблюдения за буграми пучения в Тазовском с 1999 г. указывают на то, что бугры пучения интенсивно деградируют в результате потепления.

«Обычно высота таких бугров достигает 2–5 м при ширине основания до 20 м. Их генезис связан с миграцией влаги в процессе промерзания из окружающих отложений. В ряде случаев их образование обусловлено подтагиванием влаги из нижележащего водоносного горизонта» [10, с. 200].

«Таяние вечной мерзлоты, связанное с потеплением климата, приводит к стремительной водной эрозии (термокарсту).

Видеосюжеты местных СМИ, заснятых в ЯНАО, фиксируют значительные разрушения береговых линий рек и речушек, вызванных стремительной водной эрозией. Быстро протекающие эрозионные процессы приводят к разрушению мостов через северные реки. Сказываются также: слабая гидрометеорологическая изученность, сложные инженерно-геологические условия (мерзлота и др.), ошибки при проектировании и строительстве» [11, с. 17–18].

*Гидродинамическая гипотеза
преобразования котловин
термокарстовых озер*

«Большинство озерных котловин на севере Западно-Сибирской равнины – термокарстовые. Их образование обусловлено таянием пластов и линз льда в многолетнемерзлых грунтах. Такие озера имеют обрывистые берега, сложенные торфом и суглинками со значительной льдистостью» [10, с. 231].

На момент образования формы термокарстовых озер различаются. По мере развития котловины приобретают округлую форму. Было сформулировано предположение, что на севере Западной Сибири округлая форма термокарстовых озер формируется за счет вращением воды. В термокарстовых озерах из-за нагрева поверхностного слоя воды возникает температурная стратификация, которая приводит к круговому движению воды против часовой стрелки.

Гидродинамическая гипотеза, предложенная Б.П. Ткачевым [13], была подтверждена в ходе полевых измерений вращения воды в термокарстовых озерах ЯНАО (рис. 2). Это вращение не зависит от направления ветра и размеров озер. Подобные исследования проводились на 9 озерах с круглой конфигурацией. Гипотеза полностью подтвердилась. Сохранение отрицательных температур на дне больших термокарстовых озер является следствием низкой теплопроводности воды. Примером сохранения ледяных линз на своем дне является озеро Самотлор и ряд других озер севера Западной Сибири.



Рис. 2. Поплавок с указательной стрелкой соосно соединенной с подводным флюгером

Таким образом, определение зависимости таяния мерзлоты от средней зимней температуры и от количества выпавших осадков летом, а также полевые исследования в устьевой зоне Иртыша и в термокарстовых озерах ЯНАО позволили количественно оценить величину геоморфологических процессов, в результате объективности оценки геоморфологической безопасности территории возрастает.

*Особенности риска геоморфологических
процессов в устьевых зонах
великих рек Сибири*

Геоморфологические условия безопасного судоходства определяются не только мелководьем Северного морского пути в Арктике, но и быстрыми геоморфологическими изменениями устьевой зоны рек.

«В последнее время во всем мире повысился интерес к изучению специфических природных объектов, занимающих особое место на земной поверхности, – устьевых областей рек» [11, с. 18].

Обь-Иртышский бассейн имеет уникальное природное образование – губу. Навигационный период в ней достигает 2,5 месяца.

В Обской губе из-за дноуглубительных работ при разработке проекта «Ямал СПГ» сформировалась песчаной отмели. Современное состояние песчаной отмели, перекрывающей выход из Обской губы стабильно [14].

«Происходят изменения судового хода Оби, Иртыша, Таза, в результате чего проводка судов в устьевой области осложнилась. В связи с этим изучение эрозионно-аккумулятивных процессов, формирующих природный облик устьевой зоны рек, приобретает высокую значимость» [13, с. 51].

Таким образом, устьевые зоны великих рек Оби и Иртыша находятся в особых условиях, когда происходят быстрые геоморфологические изменения. С одной стороны, увеличивается срок навигации, с другой стороны, в результате активной водной эрозии с берегов большое количество взвешенных частиц заполняет устьевые участки рек, глубоководные воронки гидродинамического происхождения забиваются песком и реки мелеют, что резко ухудшает судоходство. Наиболее напряженная ситуация сформировалась в Тазовской губе, где необходимы работы по углублению фарватера. Возникновение и развитие самих глубоководных воронок в устьевых участках рек объясняет гидродинамическая гипотеза.

Заключение

Геоморфологические риски наиболее обоснованно оценивать в рамках речных

бассейнов. Бассейны сибирских рек являются «тыловой зоной» Арктики. Основными рисками, рассчитываемыми в рамках бассейнов являются наводнения, приводящие к значительным ущербам и риски низких уровней воды в межень, приводящие к значительным затратам, а также глубинная и боковая эрозия.

В результате изменения климата в Арктике наблюдается интенсивная просадка бугров пучения, опасная деградация вечной мерзлоты, приводящая к стремительной водной эрозии, росту обводненности и заозеренности территории, преобразованию котловин термокарстовых озер. Множественная оценка рисков геоморфологических процессов повышает объективность результатов и играет значительную роль хозяйственного развития Севера (Арктики).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-13-00423.

Список литературы

1. Ткачев Б.П. Природные опасности: теория, методы и технологии. Природные опасности: связь науки и практики: материалы II Межд. науч.-практ. конф. (Саранск, 23–25 апреля 2015 г.) / Отв. ред. С.М. Вдовин. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. С. 441–446.
2. Болысов С.И., Бредихин А.В., Еременко Е.А. Комплексная оценка геоморфологической безопасности России для целей хозяйственного освоения // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Круглый стол. 17 сентября 2015 г. Доклады и выступления. М.: ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России, 2015. С. 74–85.
3. Болысов С.И., Бредихин А.В., Еременко Е.А. Основы концепции геоморфологической безопасности: материалы XXXIV Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Волгоград, 2014. С. 19–25.
4. Битюкова В.Р., Кириллов П.Л. Методы комплексной оценки региональных различий экологической напряженности в России // Региональные исследования. 2011. № 1. С. 56–69.
5. Кузьмин С.Б. Опасные геоморфологические процессы и риск природопользования. Новосибирск: ГЕО, 2009. 195 с.
6. Готванский В.И., Лебедева Е.В. Влияние природных и антропогенных факторов на напряженность геоморфологических процессов на Дальнем Востоке. Геоморфология. 2010. № 2. С. 26–36.
7. Лихачева Э.А., Шварев С.В., Аникина Н.В. Геоморфологическая оценка территориальных ресурсов Новой Москвы // Геоморфология. 2015. № 1. С. 77–87.
8. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Крутовский А.О., Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы рек Сибири: учебное пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 182 с.
9. Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казанского университета, 1984. 263 с.
10. Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (Северная и центральная части). Томск. Изд-во ТГУ, 1976. 344 с.
11. Ткачев Б.П. Гидрометеорологическое обеспечение устойчивого развития Севера (Арктики). Безопасный Север – чистая Арктика: материалы I Всероссийской научно-практической конференции (г. Сургут, 26 октября 2018 г.). Сургутский гос. ун-т. Сургут: ООО «Печатный мир г. Сургут», 2018. С. 14–25.
12. Фролов А.В. Гидрометеорологическое обеспечение морской деятельности в Арктике: новые технологии // Российские полярные исследования. 2014. № 4 (18). С. 3–5.
13. Ткачев Б.П. Гидродинамические процессы устьевых областей реки Иртыш // Водное хозяйство России. 2015. № 4. С. 44–52.
14. Оценка воздействия на окружающую среду и социальную среду: Краткое изложение результатов оценки. Версия 2. Октябрь 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://yamallng.ru/403/docs/NTS%20Issue%202%20RUS%20IS%20clean%20v2.pdf> (дата обращения: 14.02.2020).

СТАТЬИ

УДК 616.4:616.1:616-006

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИММУНОФЕНОТИПИРОВАНИЯ И ЧАСТОТА РАСПРОСТРАНЕННОСТИ У БОЛЬНЫХ ДЕТЕЙ ОСТРОГО МИЕЛОИДНОГО ЛЕЙКОЗА

^{1,2}Баратова Д.А., ^{2,3}Маматысаева У.А., ^{2,3}Мадемилова Ч.М.

¹АНМНО «Евразийский центр онкогематологии, иммунологии и терапии»,

Санкт-Петербург, e-mail: baratova@list.ru;

²АНО «Национальный регистр гемопоэтических стволовых клеток Киргизии», Санкт-Петербург;

³ГУ «Национальный центр онкологии и гематологии» Министерства здравоохранения, Бишкек

В статье представлены результаты исследований иммунофенотипирования (ИФТ) с помощью метода проточной цитофлуориметрии и определена частота выявляемости среди больных детей острого миелоидного лейкоза. Диагноз острый миелобластный лейкоз может быть установлен при наличии иммунофенотипа миелопероксидазы (МРО) и в случае отсутствия, а бластные клетки экспрессируют другие, менее специфичные миелоидные маркеры и исключен вариант острого лимфобластного лейкоза. При ИФТ методом проточной цитофлуориметрии, острый миелоидный лейкоз выявляется во всех детских возрастах, но при нашем наблюдении в возрастах от 12 лет до 12 лет 11 месяцев и от 16 лет – 16 лет 11 месяцев не выявлено ни среди женского, ни среди мужского пола – 0% случаев. Выявлено, в Кыргызской Республике среди больных детей наиболее распространенные варианты лейкозов: острый миелобластный лейкоз (М2) в 53% случаев и острый миеломонобластный лейкоз (М4) в 20% случаев и реже выявляется острый миелобластный лейкоз (М1) в 10% случаев, острый промиелоцитарный лейкоз (М3) в 10% и острый монобластный лейкоз (М5а, М5b) в 7% случаев. Выявляется острый миелоидный лейкоз среди больных детей женского пола киргизской национальности в 78% случаев, среди мужского пола в 83% случаев, и у больных детей женского пола среди жителей русскоязычного населения Кыргызской Республики в 22% случаев, мужского пола в 17% случаев. Чаще обнаруживается у больных детей киргизской национальности острый миелобластный лейкоз (М2) в 69% случаев, острый промиелобластный лейкоз (М3) в 67% случаев, а среди больных детей жителей русскоязычного населения Кыргызской Республики острый миелобластный лейкоз (М1) в 68% случаев, острый миелобластный лейкоз (М4) в 68% случаев и острый монобластный лейкоз (М5а, М5b) в 100% случаев. ИФТ по результатам дает свою целенаправленную характеристику бластных клеток и индивидуально с учетом предельной чувствительности методики.

Ключевые слова: проточная цитофлуориметрия, острый миелоидный лейкоз, дети, киргизская национальность

DIAGNOSTIC INDICATORS IMMUNOPHENOTYPING AND FREQUENCY THE PREVALENCE IN PATIENTS CHILDREN ACUTE MYELOID LEUKEMIA

^{1,2}Baratova D.A., ^{2,3}Mamatysaeva U.A., ^{2,3}Mademilova Ch.M.

¹ANMSO «Eurasian Center of Oncohematology, Immunology and Therapy»,

Saint-Petersburg, e-mail: baratova@list.ru;

²ANO «National register of hematopoietic stem cells Kirgizia», Saint-Petersburg;

³SI «National Center of Oncology and Hematology» Ministry of Health Kyrgyz Republic, Bishkek

The article presents the results of immunotyping (IFT) studies using the method of flowing cytofluorimetry and determined frequency the elicitation among patients children of acute myeloid leukemia. The diagnosis acute myeloblastic leukemia (AML) can be made at the availability of the IFT of myeloperoxidase (MPO) and in the absence, when the blast cells express other, less specific myeloid markers and is excluded the variant of acute lymphoblastic leukemia. At the IFT by dint of flowing cytofluorimetry in patients children, AML is detected at all ages, but with our observation at the ages of 12 years – 12 years 11 months and 16 years – 16 years 11 months not detected neither among the female and male -0% of cases. In the Kyrgyz Republic, among the patients children, the most common variants of leukemia were revealed: acute myeloblastic leukemia (M2) in 53% of cases and acute myelomonoblastic leukemia (M4) in 20% of cases and less often acute myeloblastic leukemia (M1) in 10% of cases, acute promyelocytic leukemia (M3) in 10% and acute monoblastic leukemia (M5a, M5b) in 7% of cases. AML is diagnosed in female patients of kirgiz nationality in 78% of cases, among male in 83% of cases, and in female patients of residents Russian-speaking population of the Kyrgyz Republic in 22% of cases, male in 17% of cases. The is revealed in patients children kirgiz nationality: acute myeloblastic leukemia (M2) in 69% of cases, acute promyeloblastic leukemia (M3) in 67% of cases, and also in patients children of the residents Russian-speaking population of the Kyrgyz Republic (Kirgizia) in 68% of cases acute myeloblastic leukemia (M1), acute myeloblastic leukemia (M4) in 68% of cases and acute monoblastic leukemia (M5a, M5b) in 100% of cases. Based on the results, the IFT gives its targeted characterization of blast cells and individually, taking into account the limiting sensitivity of the technique.

Keywords: flowing cytofluorimetry, acute myeloid leukemia, children's, kirgiz nationality

Острый лейкоз – это острое злокачественное заболевание системы крови, с поражением на уровне детерминированных родоначальных стволовых клеток или ран-

них клеточных предшественников, характеризующийся наличием бластных клеток в костномозговом пунктате или в периферической крови от 20% и более.

При постановке диагноза острого миелоидного лейкоза (ОМЛ) цитогенетические, морфологические исследования по настоящее время остаются мощным инструментом в клинической практике, но для подробного изучения клеток костного мозга, метод проточная цитофлуориметрия имеет свои, несомненно, большие преимущества.

На сегодняшний день, при постановке диагноза острого миелоидного лейкоза с помощью метода проточной цитофлуориметрии, необходимо оценить иммунофенотипические особенности бластных клеток и определить вариант направленности миелоидной клеточной линейности и исключить Т и В-линейной или редкие варианты неясной линейности.

Клетки миелоидной линии развиваются в костном мозге из общего кроветворного предшественника. Ранними клетками моноцитарного ряда – это монобласты и промиелоциты. В норме их содержание в костном мозге, крайне низкое.

По данным автора [1] монобласты экспрессируют маркеры предшественников CD34, CD117 и HLA-DR, в последовательности появляются CD4, CD64, CD36, CD33, CD11c, CD11b, CD15, CD14 и в стадии промиелоцита интенсивность экспрессии данных маркеров увеличивается, а антигены ранней стадии дифференцировки (CD34, CD117) медленно исчезают. При диагностике острого миелоидного лейкоза (ОМЛ), наиболее специфичным является обнаружение миелопероксидазы в цитоплазме опухолевых клеток.

Миелопероксидаза – линейно-специфический маркер миелоидной линии, лизосомальный фермент гранулоцитов. При иммунофенотипировании в случае не выявления миелопероксидазы, то для установления миелоидного варианта острого лейкоза, необходимо исследовать другие миелоидные антигены, включая маркеры редких форм ОМЛ (эритроидный, мегакариобластный), а также исключить лимфоидный вариант дифференцировки опухолевых клеток. С диагностической целью применяются определение линейной принадлежности опухолевых клеток наборы антител рекомендованные Международной группой экспертов Европейской сети лейкемии (ELN) [2], консорциума Еврофлор [3], и для дифференциальной диагностики классификации European Group for the Immunological Characterization of Leukemia (EGIL) [4] и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [5].

Для подтверждения миелоидной направленности опухолевых (бластных) клеток необходимо оценить экспрессию миелоидных антигенов.

Как отмечают авторы [5], бластные клетки при остром миелоидном лейкозе (ОМЛ) чаще всего экспрессируют маркеры предшественников (CD34, CD117, HLA-DR) и в редких случаях терминальную дезоксирибонуклеотидил трансферазу-TdT (Terminal deoxynucleotidyl Transferase), специализированная ДНК-полимераза, которая в норме добавляет N-нуклеотиды при реоранжировке генов Т и В клеточных рецепторов, увеличивая их вариабельность.

Встречается в 30% случаев при остром миелоидном лейкозе CD7, экспрессия данного антигена может коррелировать с неблагоприятным прогнозом [6].

Как отмечают авторы [7], в будущем найдет свое мощное направление иммунотерапия, вакциноterapia, гаплогенотипическая трансплантация гемопоэтических стволовых клеток при лечении острых лейкозов и других злокачественных онкогематологических заболеваниях.

На сегодняшний день, при правильном постановке диагноза «острый лейкоз», с определением направленности миелоидного варианта линейности и своевременном подборе ПХТ, необходимо провести аллогенную трансплантацию гемопоэтических стволовых клеток. Своевременное проведение высокотехнологичного метода терапии гаплогенотипической (родитель, брат, сестра или плацентарная кровь) [7], или близкородственной, неродственной трансплантации гемопоэтических стволовых клеток, позволяет при наличии совместимого HLA-идентичного здорового донора [8].

Целью нашего исследования является выявление частоты распространенности и своевременный диагностический анализ иммунофенотипа опухолевой (бластной) клеточной линейности при остром миелоидном лейкозе у больных детей в Кыргызской Республике (Киргизии).

Материалы и методы исследования

В группу исследования с ноября 2016 г. по декабрь 2019 г. вошли 30 пациентов детей (женского пола – 16, мужского пола – 14) с острым миелоидным лейкозом, из них больные дети киргизской национальности – 24 (женского пола – 14 и мужского пола – 10) и жителей русскоязычного населения (смешанная нация и разной национальности) Кыргызской Республики (Киргизии) – 6 пациентов детей, из них детей (женского пола – 2, мужского пола – 4), все граждане Кыргызской Республики (Киргизии), в возрасте от 1,5 года до 16 лет, проходившие обследование в отделении детской онкологии Национального центра онкологии и гематологии Министерства здравоохранения Кыр-

гизской Республики и в отделении детской гематологии Ошской межобластной клинической детской больницы г. Ош, в г. Санкт-Петербурге больные консультированы врачами гематологами на базе Евразийского центра онкогематологии, иммунологии и терапии.

Метод с помощью проточной цитофлуориметрии использовался впервые, и проводилось иммунофенотипирование в г. Бишкек (Кыргызская Республика (Киргизия).

Метод с помощью проточной цитофлуориметрии

Материалом для исследования был костный мозг. Больным произведена пункция грудины. При получении материала, необходимо соблюдать технику сбора и для получения качественного результата, пункционный анализ не должен быть с примесью крови и механически в пробирке с ЭДТА не разрушать клетки во время пробоподготовки к иммунофенотипированию. Иммунофенотипирование лейкозных (бластных) клеток проводят на проточном цитофлуориметре Cytomics FC500 (Beckman Coulter, США) с использованием моноклональных антител Beckman Coulter.

Статистическая обработка полученных результатов включала в себя анализ стандартных критериев. χ^2 -квадрат, использовали для оценки достоверности различий по встречаемости определенных признаков между исследуемой группой. Определение величины «р», соответствующей найденному значению. χ^2 -квадрат, велось на компьютерной программе с учетом одной степени свободы. Все математические расчеты и общий статистический анализ полученных

исследований проводили с помощью персонального компьютера с использованием пакета прикладных программ для Электронных Таблиц Microsoft – ExcelTM Версия 7,0 для Windows 95, для Windows-2010, Statistica-5.

Результаты исследования и их обсуждение

При проведении нами исследований, диагноз острый миелоидный лейкоз (ОМЛ) устанавливался на основании клинических данных и комплексных ряда общих и специальных лабораторно-диагностических показателей.

По результатам наших исследований в Кыргызской Республике (Киргизии) с острым миелоидным лейкозом (ОМЛ) у больных детей по возрастным показателям среди мужского пола выявляется в возрастах от 1,5 года до 1 года 11 месяцев, от 3 лет – 3 лет 11 месяцев, 8 лет – 8 лет 11 месяцев, 10 лет – 10 лет 11 месяцев и от 14 лет до 14 лет 11 месяцев и среди женского пола от 7 лет до 7 лет 11 месяцев, 9 лет – 9 лет 11 месяцев, 11 лет – 11 лет 11 месяцев и от 13 лет до 13 лет 11 месяцев, практически в 100% случаев. Выявляются среди женского пола в возрастах от 2-х лет до 2 лет 11 месяцев в 77% случаев, в 4 года до 4 года 11 месяцев в 50% случаев, от 5 лет – 5 лет 11 месяцев в 32% случаев, в 6 лет – 6 лет 11 месяцев в 50% случаев и в 15 лет – 15 лет 11 месяцев в 50% случаев, а среди мужского пола в возрастах от 2-х лет – 2 лет 11 месяцев в 23% случаев, в 4 года – 4 года 11 месяцев в 50% случаев, в 5 лет – 5 лет 11 месяцев в 68% случаев, в 6 лет – 6 лет 11 месяцев в 50% случаев, в 15 лет – 15 лет 11 месяцев в 50% случаев.

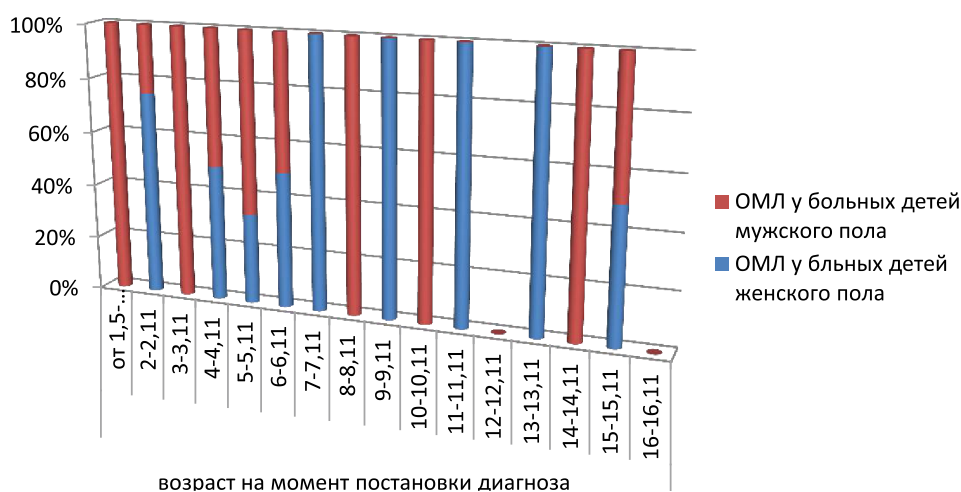


Рис. 1. Сравнительная возрастная характеристика частоты выявляемости в Кыргызской Республике у больных детей женского и мужского пола острого миелоидного лейкоза

При нашем наблюдении в возрастах от 12 лет до 12 лет 11 месяцев и от 16 лет до 16 лет 11 месяцев не выявлено ни среди женского пола, ни среди мужского пола – 0% случаев, данные представлены на рис. 1.

По значимости отличий, в Кыргызской Республике (Киргизии) острый миелоидный лейкоз у больных детей чаще выявляется среди мужского пола по сравнению с контрольной группой (женского пола) и имеет статистически достоверные различия, где $p < 0,005$.

По частоте распространенности среди больных детей киргизской национальности выявляется острый миелобластный лейкоз (вариант M1) в 32% случаев, острый миелобластный лейкоз (вариант M2) в 69% случаев, острый промиелобластный лейкоз (вариант M3) в 67% случаев, острый миелобластный лейкоз (вариант M4) в 32% случаев, острый монобластный лейкоз (вариант M5a, M5b) в 0% случаев, данные представлены на рис. 2. В сравнении среди больных детей жителей русскоязычного населения Кыргызской Республики (Киргизии) выявляется острый миелобластный лейкоз (вариант M1) в 68% случаев, острый миелобластный лейкоз (вариант M2) в 31% случаев, острый промиелобластный лейкоз (вариант M3) в 33% случаев, острый миелобластный лейкоз (вариант M4) в 68% случаев, острый монобластный лейкоз (вариант M5a, M5b) в 100% случаев.

По значимости отличий, в Кыргызской Республике (Киргизии) по вариантам течения заболевания острый миелобластный лейкоз (вариант M1) и острый миелобластный лейкоз (вариант M4) реже выявляется и практически не выявляется острый моно-

бластный лейкоз (вариант M5a, M5b) среди больных детей киргизской национальности по сравнению с больными детьми жителей русскоязычного населения Киргизии, и имеют статистически высоко достоверные различия, где $p < 0,0001$.

Как видно, из представленного рис. 3, острый миелоидный лейкоз (ОМЛ) у больных детей среди женского пола киргизской национальности выявляется в 78% случаев, а среди мужского пола в 83% случаев.

А среди больных детей женского пола жителей русскоязычного населения Кыргызской Республики (Киргизии) выявляется в 22% случаев, среди мужского пола в 17% случаев.

По значимости различий, по распространенности в Кыргызской Республике (Киргизии) острый миелоидный лейкоз чаще диагностируется среди больных детей (женского и мужского пола) киргизской национальности по сравнению с контрольной группой (женского и мужского пола) больными детьми жителей русскоязычного населения Кыргызской Республики (Киргизии) и имеют статистически достоверные различия $p < 0,005$.

По данным наших исследований, как видно из представленного рис. 4, выявляются среди больных детей в Кыргызской Республике (Киргизии) наиболее распространенные – острый миелобластный лейкоз (M2) в 53% случаев, острый миеломонобластный лейкоз (M4) в 20% случаев и несколько реже выявляется острый промиелоцитарный лейкоз (M3) в 10% случаев, острый миелобластный лейкоз (M1) в 10% случаев и острый монобластный лейкоз (5a, 5b) в 7% случаев.

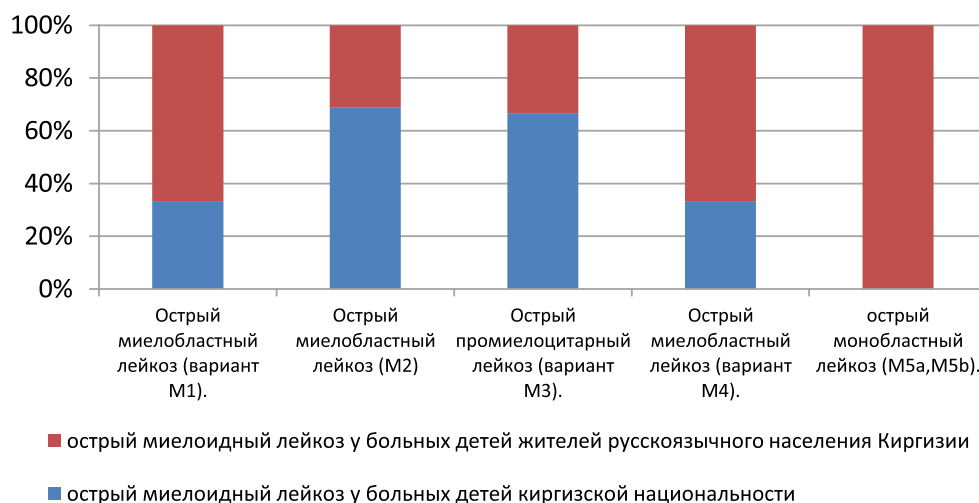


Рис. 2. Варианты острого миелоидного лейкоза (ОМЛ) среди больных детей киргизской национальности и жителей русскоязычного населения Кыргызской Республики (Киргизии)

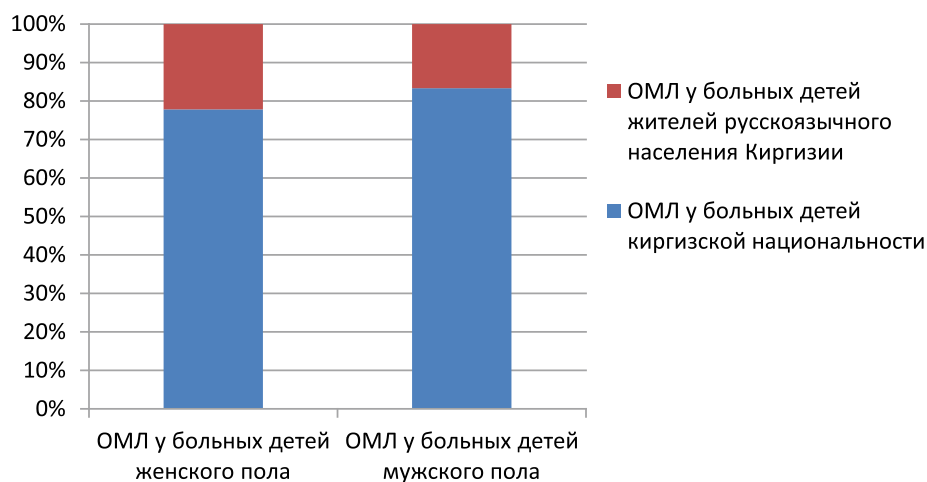


Рис. 3. Распространенность среди женского и мужского пола у больных детей острого миелоидного лейкоза в Кыргызской Республике (Киргизии)

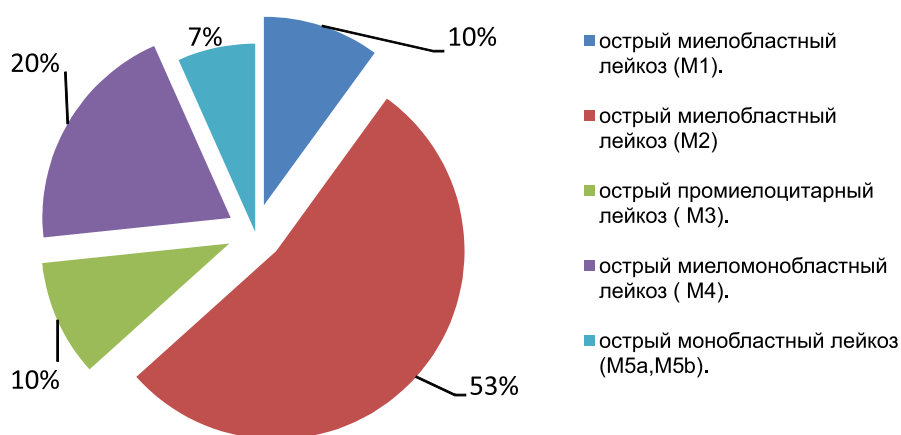


Рис. 4. Частота распространенности в Кыргызской Республике среди больных детей иммунологических вариантов острого миелоидного лейкоза (ОМЛ)

По значимости различий между вариантами ОМЛ и частоты выявляемости, наиболее распространенный и чаще диагностируется острый миелобластный лейкоз (вариант M2) и имеет статистически высоко достоверное различие, где $p < 0,005$.

Заключение

Таким образом, при остром миелоидном лейкозе важно выявление миелоидных маркеров, которые отражают ранние степени дифференцировки клеток для установления диагноза острого лейкоза. Иммунофенотипирование в диагностике вариантов миелоидной направленности опухолевых (бластных) клеток, для подтверждения миелоидной направленности необходимо оценить экспрессию миелоидных антигенов. Иммунофенотипирование с помощью

проточной цитофлуориметрии при остром миелоидном лейкозе является одним из чувствительным методом в дифференциальной диагностике с учетом правильной, подробной характеристики десятки и сотни бластных клеток, и для постановки диагноза, позволяет выявить характерный иммунофенотип наличие миелопероксидазы (MPO), что диктует о необходимости своевременного подбора эффективной программы химиотерапии и после проведенной терапии при достижении полной ремиссии, выявления минимальной остаточной болезни.

Для определения варианта линейности и выявления частоты распространенности, и особенности течения острого миелоидного лейкоза у детей в Кыргызской Республике (Киргизии), необходимо проводить

исследование методом с помощью проточной цитофлуориметрии. При остром миелоидном лейкозе, несмотря на изучение подробной характеристики бластных клеток, позволяющий выявить характерный иммунофенотип с помощью метода проточной цитофлуориметрии, для подтверждения диагноза необходимо параллельно проводить цитогенетические, молекулярно-генетические и морфологические исследования.

По частоте распространенности острый миелоидный лейкоз встречается у больных детей и среди женского, и среди мужского пола, и течение заболевания более агрессивное, в связи с чем необходимо при своевременной установке диагноза, определить направленность миелоидной линейности. Подбор и проведение полихимиотерапии, и пересадка гемопоэтических стволовых клеток, в частности у детей дает наилучшие результаты при наличии HLA-идентичного здорового донора.

Выводы

1. Исследовать костный мозг у больных детей с острым миелоидным лейкозом с помощью метода проточной цитофлуориметрии и параллельно проводить цитогенетические, цитохимические, морфологические исследования.

2. Скрининговое исследование опухолевых (бластных) клеток для определения линейной направленности.

3. Определить направленность – вариант миелоидной линейности и исключить лимфоидный вариант линейности.

4. Иммунофенотипирование методом проточной цитофлуориметрии позволяет выявить характерный миелоидной линейности иммунофенотип опухолевых (бластных) клеток и своевременно выбрать эффективную программу химиотерапии.

Список литературы

1. Gorczyca W. Flow cytometry neoplastic hematology. Morphologic-immunophenotypic correlation. Informa healthcare. 2014. P. 20–45.
2. Dohner H., Estey E., Grimwade D. Diagnosis and management of AML in adults: 2017 ELN recommendations from an international expert panel. *Blood* 2017. vol. 129. P. 421–447.
3. Van Dongen J.M., Lhermitte I., Bottcher S. EuroFlow antibody panels for standardized n-dimensional flow cytometric immunophenotyping of normal, reactive and malignant leukocytes. 14th EHA Congress. Berlin. 2009. P. 10–155.
4. Bene M.C., Gastaldi G., Knapp W. Proposals for the immunological classification of acute leukemia European Group for the Immunological Characterization of Leukemia (EGIL) *Leukemia*. 1995. vol. 9. P. 1783–1786.
5. Swerdlow S.H., Compo E., Harris N. World Health Organization (WHO) Classification of Tumors of Hematopoietic and Lymphoid Tissues. International Agency for Research on cancer. 2017. P. 1–100.
6. Rohrs S., Scherr M., Romani J. Cd7 in acute myeloid leukemia: correlation with loss of wild – type CEBPA, consequence of epigenetic regulation. *Journal Hematology Oncology*. 2010. P. 3–15.
7. Baratova D.A., Toichubaev M.A. Immunogenetic indicators of placental blood on the system HLA-main complex histocompatibility (192nd Scientific Federation Conference, 4th Global Conference and Expo on Vaccines Research & Development, February 10–11, 2020. Lisbon, Portugal). P. 50–51.
8. Баратова М.А., Баратова Д.А., Джапаркулова А.Д., Нурлыханов Е.Б. Иммуногенетические аспекты антигенов HLA-аллелей главного комплекса гистосовместимости больных множественной миеломой и доноров гемопоэтических стволовых клеток // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5. [Электронный ресурс]. URL: [http:// www.science-education.ru/119-14892](http://www.science-education.ru/119-14892) (дата обращения: 14.02.2020).

УДК 616.31

ОСОБЕННОСТИ АУТОКОСТНОЙ ПЛАСТИКИ РАСЩЕЛИНЫ АЛЬВЕОЛЯРНОГО ОТРОСТКА ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ У БОЛЬНЫХ С ВРОЖДЕННОЙ ЗУБОЧЕЛЮСТНОЙ АНОМАЛИЕЙ

Ешиев Д.А., Ешиев А.М.

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

В статье приведены результаты проведенного нами исследования в области челюстно-лицевой хирургии. В качестве исследуемой группы нами были обследованы и пролечены 90 пациентов с врожденной расщелиной альвеолярного отростка верхней челюсти. Пациенты с данной патологией были разделены на две группы для сравнения результатов полученных после лечения. У больных основной группы (60 человек) была проведена аутокостная пластика модифицированным нами методом, а у больных группы сравнения пластика альвеолярного отростка верхней челюсти проведена традиционной методикой. Отличие модифицированного метода пластики в том, что с обеих сторон дефекта дополнительно накладывается кортикальная пластинка для изоляции пересаженной кости от инфицирования условно-патогенной микрофлорой. На этапе диагностики были использованы традиционные методы обследования больных, а также дополнительные, как панорамная рентгенография, эхоостеометрия и 3д компьютерная томография. После проведенного лечения все результаты были сравнены между собой и сделан соответствующий вывод. Результаты исследования показали, что модифицированный метод аутокостной пластики альвеолярного отростка верхней челюсти дает более благоприятные исходы лечения и на основании этого сделанный нами вывод обоснован полученными результатами.

Ключевые слова: челюстно-лицевая хирургия, аутокостная пластика, врожденные аномалии, зубочелюстные аномалии, аутоотрансплантация

FEATURES OF AUTOBONEPLASTICS OF THE ALVEOLAR BONE CLEFT OF THE UPPER JAW IN PATIENTS WITH CONGENITAL DENTAL MAXILLOFACIAL ANOMALY

Eshiev D.A., Eshiev A.M.

Osh Interregional United Clinical Hospital, Osh, e-mail: eshiev-abdyrakhman@rambler.ru

The article presents the results of our study in the field of maxillofacial surgery. As a study group, we examined and treated 90 patients with congenital cleft alveolar process of the upper jaw. Patients with this pathology were divided into two groups to compare the results obtained after treatment. Patients of the main group (60 people) underwent autologous plastic surgery using the modified method, and in patients of the comparison group, plastic surgery of the alveolar ridge of the upper jaw was performed using the traditional technique. The difference between the modified method of plastics is that a cortical plate is additionally applied on both sides of the defect to isolate the transplanted bone from infection with conditionally pathogenic microflora. At the stage of diagnosis, traditional methods of examining patients were used, as well as additional methods such as panoramic radiography, echoosteometry, and 3D computed tomography. After the treatment, all the results were compared among themselves and an appropriate conclusion was made. The results of the study showed that the modified method of autologous plastic surgery of the alveolar process of the upper jaw gives more favorable treatment outcomes and, based on this, our conclusion is justified by the results obtained.

Keywords: maxillofacial surgery, autologous bone grafting, congenital malformations, maxillofacial anomalies, autologous transplantation

Своевременная пластика альвеолярного отростка верхней челюсти при врожденных аномалиях развития зубочелюстной системы играет немаловажную роль в реабилитации больных с таким видом патологий. От результатов аутокостной пластики дефектов верхней челюсти зависит не только эстетический момент, но также это имеет функциональную значимость. После пластики дефекта восстанавливается целостность альвеолярного отростка что влияет на рост верхней челюсти в целом. В послеоперационном периоде эффективность ортодонтического лечения больных

с врожденной расщелиной альвеолярного отростка верхней челюсти намного возрастает. По данным некоторых авторов своевременное хирургическое лечение больных с врожденными аномалиями определяет объем дальнейших вмешательств уменьшая их [1–3]. На сегодня в связи с развитием промышленности и возрастанием объема пищевых отраслей, увеличивается необходимость использования различных химических соединений, что непосредственно влияет на человека в период его внутриутробного развития. Также по многочисленным данным пластика альвеолярного от-

ростка верхней челюсти, в дальнейшем улучшает формирование зубочелюстной системы и в частности функцию речи, дыхания и т.д. [4–6].

Цель исследования: обоснование выбора более эффективного метода аутокостной пластики дефектов альвеолярного отростка верхней челюсти при зубочелюстных аномалиях.

Материалы и методы обследования

Нами была проведена ортодонтическое лечение у 90 пациентов с врожденными патологиями челюстно-лицевой области с недоразвитием верхней челюсти с дистопией передних зубов и врожденным дефектом альвеолярного отростка верхней челюсти. На первом плане было решено расширение верхней челюсти с применением внутриротовым аппаратом Quad Helix с последующим применением брекет системы. Группа состояла из (54 женщин и 36 мужчин) в возрасте от 11 до 21 лет, которые еще разделены на 2 подгруппы: основную – 60, сравнимую – 30 человек. В основной подгруппе проведено оперативное лечение модифицированная аутокостная пластика по нашему усовершенствованному методу (Патент КР № 2062). Способ осуществляется следующим образом: Вмешательство начинается со взятия костной ткани с подвздошной кости в необходимом объеме. Далее в области дефекта со стороны носовой полости формируется задняя стенка и на нее укладывается кортикальная пластинка виде блока костной ткани для надежной изоляции. После размягчая губчатую кость она укладывается на ложе и вместе с кровяным сгустком и коллапа-

новым гелем, далее ушивается герметично сверху ранее сформированным слизисто-надкостничным лоскутом. Костный трансплантат размягчается специальным инструментарием предназначенным для этого. В отдаленных послеоперационных сроках в обязательном порядке проводилась эхоостеометрия для анализа плотности пересаженной костной ткани, а в сравнимой подгруппе провели традиционную аутокостную пластику альвеолярного отростка верхней челюсти без использования кортикальных пластинок для изоляции.

Как показал анализ данных исследований представленных в табл. 1, основную и сравнимую группу составили пациенты от 11 до 15 лет, составила 70,9%, с 16 до 21 лишь составляют 29,1% среднее возраст $12,61 \pm 5,4$ лет.

Для максимально детального анализа врожденного дефекта и планирования дальнейшей аутокостной пластики было использовано рентгенологическое обследование с помощью 3Д-компьютерной томографии.

Методы лучевой диагностики в периоды до и после проведенного лечения позволяли более детально оценить объем и протяженность дефекта, степень восстановления после операции, состояние окружающих структур кости, характер расположения и количество зубов по соседству с дефектом. А также, внутриротовые и вне ротовые фотографии. С помощью ультразвукового исследования области дефекта альвеолярного отростка, проводимое в послеоперационном периоде, оценивали степень восстановления костной ткани.

Таблица 1

Возрастной характеристика леченных пациентов (абс, %)

Возраст	Группы обследования				Всего	
	Основная		Сравнимая			
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
11 лет	14	15,5	7	7,7	21	23,3
12	11	12,2	7	7,7	18	20,0
13	13	14,4	4	4,4	17	18,8
15	5	5,5	3	3,3	8	8,8
16	3	3,3	2	2,2	5	5,5
17	4	4,4	2	2,2	6	6,6
18	4	4,4	2	2,2	6	6,6
19	3	3,3	1	1,1	4	4,4
20	2	2,2	1	1,1	3	3,3
21	1	1,1	1	1,1	2	2,2
Итого	60	66,6	30	33,4	90	100

Результаты исследования и их обсуждение

Учитывая, что ведущими клиническими симптомами являются жалобы больных общее состояние после операции соответствовало объему проведенного вмешательства и оценивалось как средней степени тяжести. Основные жалобы были на боли и отек как в полости рта на верхней челюсти, так и в области гребня подвздошной кости на оперированной стороне, подъем температуры, нами проанализирована частота субъективных клинических проявлений, отмечавшихся в раннем послеоперационном периоде у пациентов, перенесших операцию аутокостной пластики расщелин альвеолярного отростка верхней челюсти.

Как показал анализ данных табл. 1 средняя температура и средняя длительность лихорадки у пациентов основной группы была достоверно ниже, чем у больных группы сравнения. Температура у пациентов основной группы была в среднем на $0,8 \pm 0,02^\circ\text{C}$. ниже, чем у больных группы сравнения, а длительность лихорадки меньше на $1,1 \pm 0,4$ дней.

Длительность болевого синдрома купировалась на $2,5 \pm 0,3$ сутки ($p < 0,05$), раньше у больных основной группы, по сравнению с группой сравнения. А также рассасывание инфильтрата происходило на $4 \pm 0,4$ суток ($p < 0,05$), раньше у основной группы (табл. 2).

Таким образом, при аутокостной пластике модифицированным методом, отмечаются более благоприятная динамика клинических проявлений в послеоперационном периоде, по сравнению с традиционным методом аутокостной пластики расщелин альвеолярного отростка верхней челюсти.

Одним из факторов наличия воспалительной реакции является повышенная местная температуры в области операционных ран при аутокостной пластике на верхней челюсти по сравнению со здо-

ровой стороной. На здоровой стороне температура составляет в среднем $33,2 \pm 0,2^\circ\text{C}$. В то время как на стороне послеоперационной раны – $34,9 \pm 0,3^\circ\text{C}$. Таким образом, разница (градиент) кожной температуры составляет $1,7 \pm 0,3^\circ\text{C}$ при сравнении здоровой стороны с областью оперативного вмешательства. У больных основной группы выраженность местной гипертермии была незначительна: максимальное увеличение кожной температуры достигало ($33,9 \pm 0,3^\circ\text{C}$) и держалось на протяжении около 2-х суток, при этом разница со здоровой стороной была равна $1,7 \pm 0,02^\circ\text{C}$. На 4–5 сутки после операции (и до окончания наблюдения) местная температура на коже в области вмешательства нормализовалась, и ее разница, по сравнению со здоровой стороной, была практически равна 0 (табл. 3).

Таким образом, при проведении аутокостной пластики модифицированной методикой, воспалительная реакция в месте вмешательства в раннем послеоперационном периоде, менее выражены, по сравнению с использованием традиционной методики аутокостной пластики на альвеолярном отростке верхней челюсти, а также наблюдался более низкая местная температурная реакция.

С целью выяснения регенерации костной ткани в области дефекта нами проведена эхоостеометрия ее, через 1, 3, 6, 12 месяцев в отдаленных послеоперационных сроках исследуемых групп.

Результаты аутокостной пластики оценивались по трем условным категориям: хорошие, удовлетворительные и неудовлетворительные. Эффективным, считалось вмешательство, когда в отдаленных сроках после операции, объем дефекта полноценно замещался зрелой костной тканью и высота альвеолярного отростка полностью восстанавливалась. У всех обследованных в этот период было отмечено полное улучшение общего состояния, улучшилась функция жевания и речи.

Таблица 2

Клинические проявления, отмечавшиеся
в раннем послеоперационном периоде + после аутокостной пластики, $M \pm t$

Признаки	Клинические группы		P
	Основные (n-60)	Сравниваемая (n-30)	
Температура тела ($^\circ\text{C}$)	$37,1 \pm 0,3$	$37,9 \pm 0,3$	$<0,05$
Длительность лихорадки (сутки)	$1,1 \pm 0,2$	$2,1 \pm 0,4$	$<0,05$
Число лихорадящих больных (абс.%)	2,2 (2,3%)	3,1 (10,4%)	$<0,05$
Длительность болевого синдрома (сутки)	$3,4 \pm 0,4$	$5,9 \pm 0,6$	$<0,05$
Рассасывание инфильтрата (сутки)	$4,2 \pm 0,2$	$8,2 \pm 0,6$	$<0,05$

Таблица 3

Показатели локальной кожной температуры до и после операции

Сутки	Здоровая сторона (n-90)	Основная группа (n-60)	Сравнимая группа (n-30)
До операции	33,1 ± 0,4	34,6 ± 0,4*	35,4 ± 0,3*
1	33,4 ± 0,3	33,5 ± 0,2	34,9 ± 0,2**
2	33,3 ± 0,3	33,3 ± 0,3*	34,8 ± 0,2**
3	33,4 ± 0,2	33,1 ± 0,3	34,3 ± 0,3**
4	33,3 ± 0,2	33,5 ± 0,2	35,1 ± 0,1**
5	33,4 ± 0,3	33,3 ± 0,3	35,4 ± 0,2**
6	33,2 ± 0,1	33,2 ± 0,2	34,9 ± 0,4**
7	33,3 ± 0,2	33,3 ± 0,2	34,8 ± 0,4**

Примечание: * – достоверность различий по сравнению со здоровой стороной <0,05; ** – <0,01.

Анализ данных остеометрии показал, что за первый месяц после операции в месте пластики намечается незначительное увеличение проходимости звука в области пластики на верхней челюсти у пациентов обеих групп. Разницы между данными эхоостеометрии в основной и сравниваемой группах в этот период не выявлено. В норме измерения плотности прилежащей к дефекту костной ткани до операции были в пределах от 1200 М/С-1800 М/С, у каждого больного этот показатель являлся индивидуальным.

Спустя три месяца при контрольном осмотре после операции, у основной группы 55 (92%) больных восстановилась высота и глубина альвеолярного отростка, это считается хорошим результатом аутокостной пластики модифицированным методом. У данной категории больных эхоостеометрия показала незначительное уменьшение показателей по сравнению с обследованием через месяц после операции и составила от 1348 ± 11,8 М/С. У 5 (8,3%) больных основной группе отмечен результат, как удовлетворительный, это отмечено у больных, когда восстановление гребня в области вмешательства достигал уровня между 1/2 и верхней 1/4 длины корня прилежащего к расщелине зуба приставлена. Показатели эхоостеометрии у этих больных немного снизились по сравнению с изначально полученными результатами и составили 1236 ± 11,4 М/С. В сравниваемой группе хорошие результаты отмечено у 16 (53,3%) больных, показатели эхоостеометрии 1118 ± 11,6 М/С удовлетворительные – 12 (40,0%), остеометрия 1054 ± 11,5 М/С, а у 2 (6,7%) больных была неудовлетворительные результаты, вследствие нагноения и некроза пересаженной костной ткани и эхоостеометрия показала результаты близкие к нулю.

Через шесть месяцев при повторном обследовании после проведения вмешательства, результаты пластики аутоотрансплантатом на альвеолярном отростке оценены у 58 пациентов: (96,6%) с хорошими результатами костной пластики, а также при измерении плотности кости в области дефекта значения превосходили начальные 1746 ± 12,2 М/С у 2 больных (3,4%) – удовлетворительные результаты, остеометрия у них показала значение 1654 ± 11,9 М/С. Не удовлетворительные результаты в основной группе не наблюдались. В сравниваемой группе хорошими результатами было 18 (60,0%), показатели плотности были 1468 ± 11,8 М/С, удовлетворительным – 10 (33,3%), остеометрия 1279 ± 12,0 М/С, и не удовлетворительным у 2 (6,7%) больных, показатели плотности у которых равнялись нулю (р < 0,05).

Рентгенологическое исследование у всех 60 (100%) больных в основной группе через 12 месяцев выявило образование зрелой костной ткани, что подтверждают также данные денситометрии (эхоостеометрии) – 1812 ± 12,9. В сравнительной группе показатели измерения плотности кости не достигали данных основной группы (р < 0,05).

Выводы

По результатам проведенного нами исследования можно судить, что при дефектах альвеолярного отростка использование модифицированного нами метода улучшает исход проведенного хирургического лечения, за счет установленной кортикальной пластинки в основание носа и предотвращения попадания микрофлоры в полости носа. Эффективность лечения, также подтверждается результатами клинкорентгенологических и денситометрических исследований, и при использовании модифицированного метода дефект восстанавли-

ливался в 1,5 раза быстрее по сравнению с традиционным методом. Смешивание коллапанового геля с котным трансплантатом позволило улучшить противостояние условно-патогенной флоре за счет антибактериального его действия.

Список литературы

1. Тимофеев А.А. Челюстно-лицевая хирургия. Киев: ВСИ «Медицина», 2010. 616 с.
2. Афанасьев В.В. Хирургическая стоматология. М.: «ГЭОТАР-медиа», 2016. 399 с.
3. Иванов А.Л., Решетняк Е.И., Старикова Н.В., Надточий А.Г. Костная пластика верхней челюсти у пациентов с односторонней расщелиной губы и нёба аутооттранспланта-

том с нижней челюсти с использованием методов трехмерного компьютерного моделирования // Альманах клинической медицины. 2017. № 45 (6). С. 502–510.

4. Чернина Т.Н., Концевой А.В. Применение обогащенной тромбоцитами аутоплазмы в пластике дефектов альвеолярных отростков верхней челюсти и дна полости носа после операций хейло- и уранопластики // Новости хирургии. 2008. Т. 16. № 1. С. 75–79.

5. Иванов П.Ю., Журавлев В.П., Макеев О.Г. Пластика дефектов альвеолярных отростков челюстей с использованием богатой тромбоцитами плазмы (prp) при дентальной имплантации // Проблемы стоматологии. 2010. № 1. С. 38–40.

6. Ешиев Д.А., Таалайбеков Н.Т., Ешиев А.М. Устранение врожденной аномалии и дефекта альвеолярного отростка верхней челюсти // Наука, образование и культура. 2018. № 4. С. 32–39.

УДК 616.379-008.64

ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ ПО ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Исмаилов У.Ш., Зурдинов А.З.

*Кыргызская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева, Бишкек,
e-mail: ulugbek-ism@mail.ru, a-zurdinov@yandex.ru*

Сахарный диабет признан ВОЗ как пандемия XXI века. Знание эпидемиологической ситуации по сахарному диабету необходимо для медицинских и научных целей. В том числе, для планирования и повышения качества оказания медицинских услуг, для улучшения доступности медицинской помощи, для повышения информированности медицинского персонала и их подготовку, для обеспечения пациентов лекарствами и средствами для измерения глюкозы в крови. В Кыргызской Республике на 1 января 2019 г., зарегистрировано 58 873 больных сахарным диабетом, что составляет 1 % от населения страны. В 2018 г. прирост численность больных сахарным диабетом в стране по сравнению с предыдущим годом составил 5,45 %, тогда как ежегодный прирост в мире составляет – 3,4 %. За последние 10 лет заболеваемость СД в стране увеличилась в 2 раза, а за последние 15 лет – в 2,5 раза. За последние 5 лет число зарегистрированных больных сахарным диабетом в расчете на 100 тыс. населения увеличилось на 18,2 % (2014 г. – 812 чел., 2018 г. – 960 чел.). Относительный показатель смертности от СД в Кыргызской Республике составляет 1 % от суммарного числа смертей. Полученные нами в статье данные, на основе анализа позволяют объективно оценить эпидемиологическую ситуацию в отношении СД в Кыргызской Республике.

Ключевые слова: сахарный диабет, статистика, заболеваемость сахарным диабетом, количество больных сахарным диабетом, Кыргызская Республика

EPIDEMIOLOGICAL SITUATION OF DIABETES MELLITUS IN THE KYRGYZ REPUBLIC

Ismailov U.Sh., Zurdinov A.Z.

*Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev, Bishkek,
e-mail: ulugbek-ism@mail.ru, a-zurdinov@yandex.ru*

Diabetes mellitus is recognized by the WHO as a pandemic of the 21st century. Knowledge of the epidemiological situation of diabetes is necessary for medical and scientific purposes. Including, for planning and improving the quality of the provision of medical services, for improving the availability of medical care, for raising the awareness of medical personnel and their training, for providing patients with medicines and means for measuring blood glucose. As of January 1, 2019, in the Kyrgyz Republic, 58,873 patients with diabetes were registered, which is 1 % of the country's population. In 2018, the increase in the number of patients with diabetes in the country compared to the previous year was 5.45 %, while the annual increase in the world is 3.4 %. Over the past 10 years, the incidence of diabetes in the country has doubled, and over the past 15 years – 2.5 times. Over the past 5 years, the number of registered patients with diabetes mellitus per 100 thousand population has increased by 18.2 % (in 2014 – 812 people, in 2018 – 960 people). The relative mortality rate from diabetes in the Kyrgyz Republic is 1 % of the total number of deaths. The data obtained by us in the article, based on analysis, allow us to objectively assess the epidemiological situation regarding diabetes in the Kyrgyz Republic.

Keywords: diabetes mellitus, statistics, incidence of diabetes mellitus, the number of patients with diabetes mellitus, Kyrgyz Republic

Общеизвестно, что сахарный диабет признан ВОЗ как пандемия XXI в. Около 463 млн человек по всему миру или 8,8 % взрослых людей от 20 до 79 лет, по оценкам ученых, болеют сахарным диабетом. Подавляющее большинство пациентов живут в странах с переходной экономикой и в развивающихся странах. Международная Диабетическая Федерация (IDF) прогнозирует, что к 2045 г. число больных СД превысит 630 млн человек. Наибольший рост заболеваемости диабетом будет наблюдаться в странах, где экономика переходит от низкого уровня дохода к среднему уровню [1, 2].

Важно отметить, что с каждым годом расходы на лечение СД и лечение его ос-

ложнений растут, что в свою очередь влияют и на государственные бюджеты. По данным IDF, в 2019 г. на лечение сахарного диабета в мире было израсходовано более 760 млрд долларов США, 90 % из которых были потрачены на фармакотерапию СД. Число смертей по причине диабета за 2019 г. насчитывает 4,2 млн человек, что составляет 11,3 % от всех смертей в мире [2].

Знание эпидемиологической ситуации по сахарному диабету необходимо для медицинских и научных целей. В том числе, для планирования и повышения качества оказания медицинских услуг, для улучшения доступности медицинской помощи, для повышения информированности медицинского персонала и их подготовку, для обе-

спечения пациентов лекарствами и средствами для измерения глюкозы в крови.

Цель исследования: изучить и провести анализ эпидемиологической ситуации по заболеваемости сахарным диабетом в Кыргызской Республики (КР).

Материалы и методы исследования

Объектами наших исследований были данные Республиканского национального статистического комитета КР, Центра электронного здравоохранения при Министерстве здравоохранения КР, Международной диабетической федерации (IDF) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Результаты исследования и их обсуждение

В Кыргызской Республике по состоянию на 1 января 2019 г., зарегистрировано более 58 873 больных сахарным диабетом, что составляет 1 % от населения страны [3]. Из них у более 2 095 человек был выявлен диагноз СД 1 типа (3,5 %) и у более 56 778 – СД 2 типа (96,5 %). Что же касается гендерной принадлежности, то из общего числа заболевших более 36 155 человек с диагнозом сахарный диабет составляют пациенты женского пола (61 %) и более 22 718 – мужского пола (39 %).

В 2018 г. прирост численность больных сахарным диабетом в стране по сравнению с предыдущим годом составил 5,45 % (ежегодный прирост в мире – 3,4 %). За последние 5 лет общая заболеваемость сахарным диабетом в КР возросла на 36 %. За последние 10 лет заболеваемость СД в стране уве-

личилась в 2 раза, а за последние 15 лет – в 2,5 раза.

Ситуация по заболеваемости СД 1 и 2 типа показывает рост динамики с 28 694 (2008 г.) до 58 873 человек (2018 г.) (рис. 1).

При этом, согласно данным ЦЭЗ, по неизвестным нам причинам за последние 14 лет периодически наблюдался резкий спад заболеваемости СД 1 типа и ежегодный рост заболеваемости СД 2 типа в среднем на 7–8 % (рис. 2). Анализ статистических данных показывает возможные ошибки в отношении данных или высокий уровень потерь в связи с тем, что пациенты выбыли и были сняты с учета в случае смертности, переехали в другую страну или других причин. В тоже время, как отметили выше, количество больных СД составляет менее 1 % от общей численности населения, очевидно, что реальная численность больше, поскольку многие люди с признаками этого заболевания, особенно в сельской местности, не проходят соответствующего обследования и не регистрируются. По оценочным данным IDF, заболеваемость сахарным диабетом в стране должна составлять примерно 180 200 человек, что в три раза больше количества официально зарегистрированных больных с СД [4].

Из рис. 3 видно что, в городах Бишкек и Ош, в Иссык-Кульской, Нарынской и Чуйской областях число зарегистрированных больных на 100 тыс. населения больше, чем в среднем по республике, а в Баткенской, Джалал-Абадской, Ошской и Таласской областях этот показатель ниже, чем средний показатель по республике.

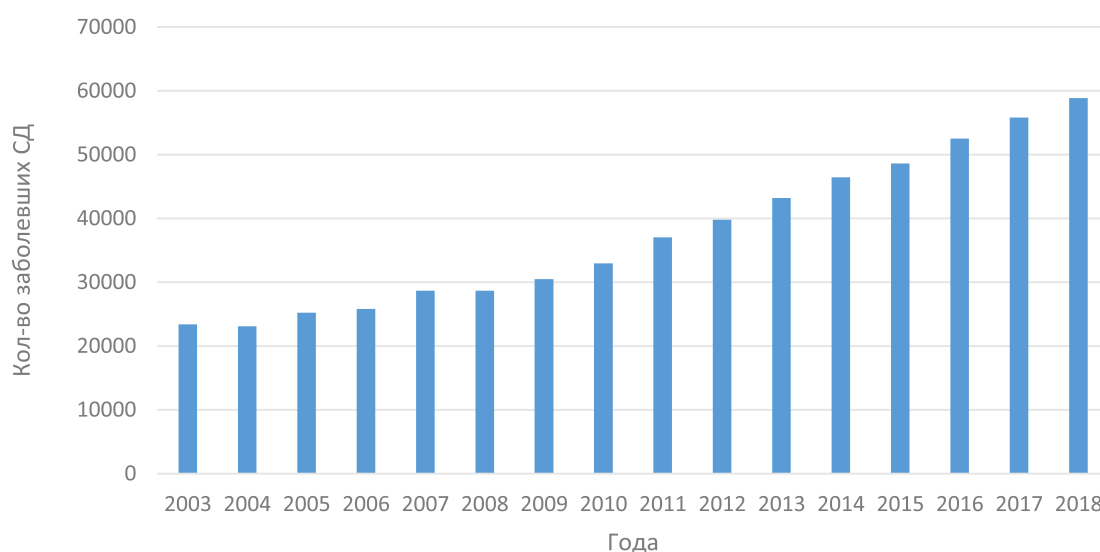


Рис. 1. Динамика заболеваемости СД в КР по годам

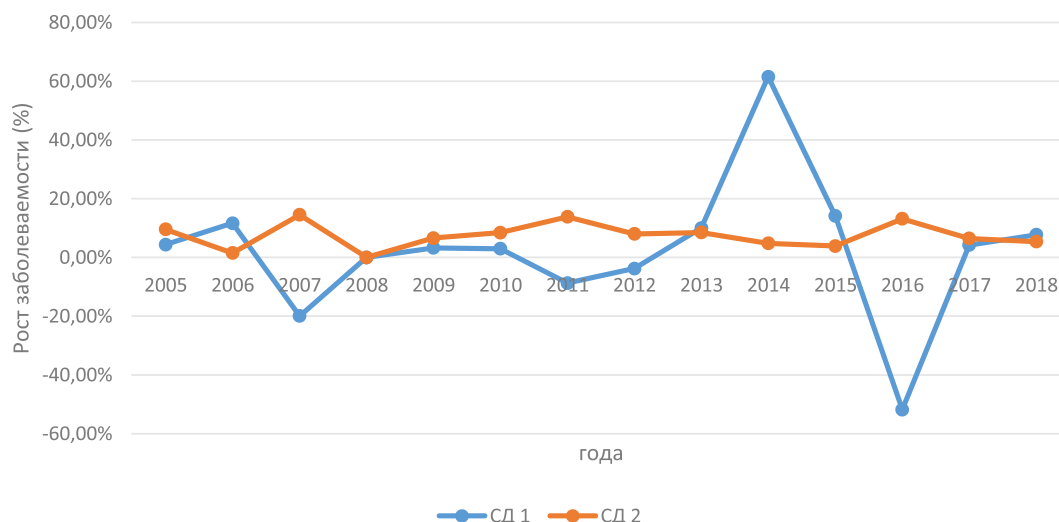


Рис. 2. Сравнение динамики заболеваемости СД 1 и СД 2 типов

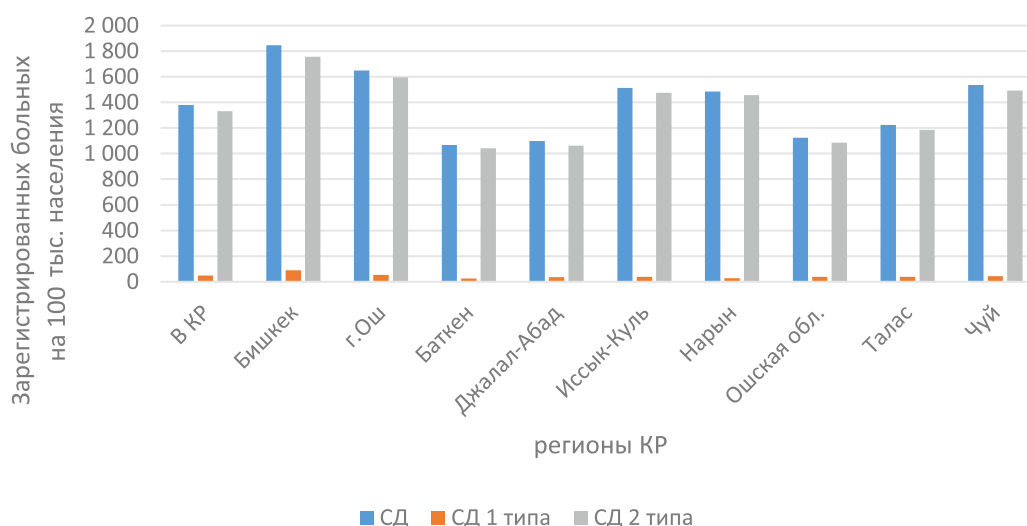


Рис. 3. Зарегистрированные больные СД 1 типа и СД 2 типа по регионам КР

За последние 5 лет число зарегистрированных больных сахарным диабетом в расчете на 100 тыс. населения увеличилось на 18,2% (2014 г. – 812 чел., 2018 г. – 960 чел.). Также наблюдается увеличение числа больных с диагнозом сахарный диабет, установленные впервые в жизни (рис. 4). Так, если в 2014 г. в расчете на 100 тыс. населения число таких больных составляло 94 человека, то в 2018 г. оно возросло до 106 человек [4].

Изучение уровней заболеваемости показал, что в 2018 г. выше среднереспубликанского уровня зарегистрировано больных с диагнозом сахарный диабет, установленным впервые в жизни: г. Ош – на 33,1%,

Нарынская область – на 14,6%, Ошская область – на 14,5%, Чуйская область – на 7,8%, г. Бишкек – на 6,3% и Иссык-Кульская область – на 3,5%. Ниже среднереспубликанского этот показатель в Джалал-Абадской – на 32,2%, в Баткенской – на 10,8% и в Таласской – на 15,9% областях.

В 2018 г. в целом по республике зарегистрировано 58 873 больных, обратившихся по поводу сахарного диабета, из них 435 детей в возрасте 0–14 лет, что составляет 0,73% об общего числа больных. Впервые в жизни диагноз сахарный диабет установлен у 6705 лиц, из числа которых 240 заболевших – инсулинозависимые, а среди детей в возрасте 0–14 лет выявлено

100 инсулинозависимых (табл. 1). Из общего числа больных, обратившихся по поводу заболевания сахарным диабетом, более 2,5 тыс. человек являются инсулинозависимыми, из них 432 – это дети в возрасте 0–14 лет [4].

Согласно табл. 2, в 2017 г. первое место по смертности от СД (в процентах на 100 тыс. населения) занимает город Ош (11,9%) и Иссык-Кульская область (10,4%). Сравнительно низкая смертность в Нарынской (3,9%) и Таласской областях (3,5%).

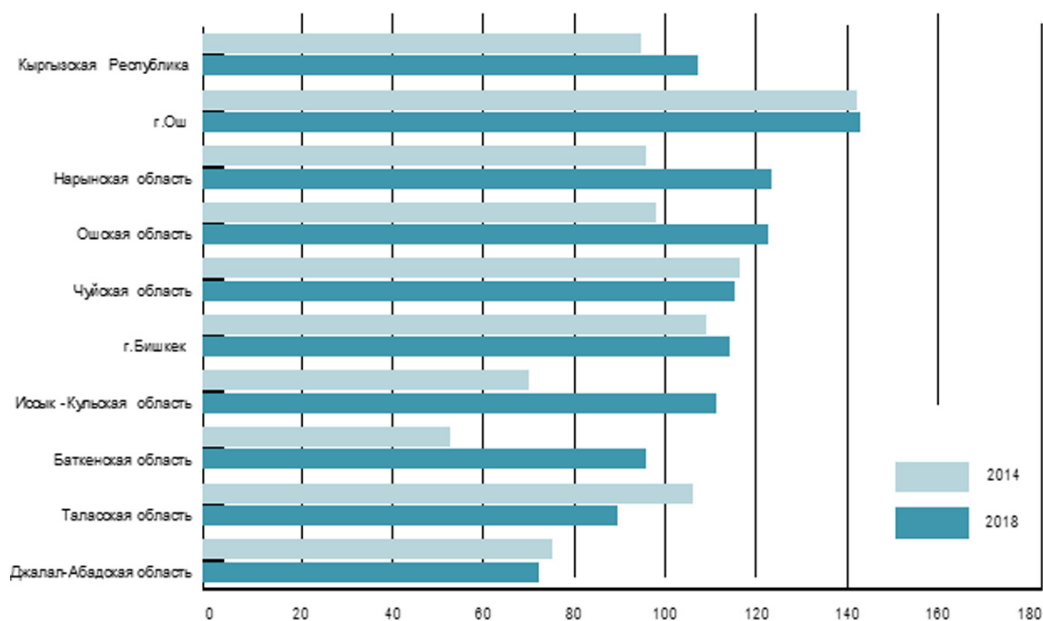


Рис. 4. Динамика роста заболеваемости СД, установленным впервые в жизни по регионам КР (2014–2018 гг.)

Таблица 1

Заболеваемость СД по возрастным группам (человек)

	Зарегистрировано больных – всего					в том числе с диагнозом, установленным впервые в жизни				
	2014	2015	2016	2017	2018	2014	2015	2016	2017	2018
Всего	46 468	48 610	52 492	55 831	58 873	5 502	5 688	5 400	5 872	6 705
в том числе по возрастам, лет:										
0–14	285	323	355	381	435	54	71	77	72	101
15–17	110	544	184	172	172	22	146	23	27	18
18 и старше	46 073	47 743	51 953	55 278	58 266	5 426	5 471	5 300	5 773	6 586

Таблица 2

Динамика смертности от сахарного диабета в КР по регионам (в процентах на 100 тыс. населения)

	2013	2014	2015	2016	2017
Кыргызская Республика	6,9	7,2	6	6,7	6,8
Баткенская область	4,5	5,9	6,2	7	6,1
Джалал-Абадская область	9,6	10,6	9	8,6	8,8
Иссык-Кульская область	9	8,9	6,2	7	10,4
Нарынская область	3,7	7	4,7	5	3,9
Ошская область	4,8	5,1	5,7	5,5	6,1
Таласская область	6,2	4,9	0,8	2,8	3,5
Чуйская область	7,9	9,5	7,4	8,6	6,6
г. Бишкек	4,9	3,8	3,2	5	4,3
г. Ош	13,3	7,8	6,2	9	11,9

Согласно данным ВОЗ, количество случаев смерти от СД в КР зарегистрировано у больных СД в возрасте от 30 до 69 лет – 250 чел., из них 110 мужчин и 140 женщин, в возрасте 70 лет и старше – менее 200 случаев.

Количество случаев смерти, которые обусловлены высоким содержанием сахара в крови, зафиксированы у 930 больных в возрасте от 30 до 69 лет, из них 490 мужчин и 440 женщин. У пациентов в возрасте 70 лет и старше количество случаев смерти от сахарного диабета зафиксировано у 1 360 человек (370 – мужчины, 990 – женщины). Относительный показатель смертности от СД в Кыргызской Республике составляет 1 % от суммарного числа смертей [5].

Заключение

1. Полученные нами в статье данные, на основе анализа позволяют объективно оценить эпидемиологическую ситуацию в отношении СД в Кыргызской Республике.

2. Проведенный нами анализ заболеваемости сахарным диабетом на территории Кыргызской Республики выявил рост уровня заболеваемости в динамике за период 2003–2019 гг. с 23 тыс. до 60 тыс. человек.

3. Данный анализ заболеваемости СД установил, что по гендерной принадлежно-

сти, из общего числа заболевших с диагнозом сахарный диабет, большинство составляют пациенты женского пола (61 %);

4. Наблюдается увеличение числа больных с диагнозом сахарный диабет, установленные впервые в жизни.

5. В 2018 г. в целом по республике зарегистрировано 435 детей в возрасте 0–14 лет с диагнозом СД, что составляет 0,73 % от общего числа больных.

6. Данный анализ также показывает, что рост уровня заболеваемости за последний год в Кыргызской Республике более высокий, чем средний рост уровня заболеваемости в мире.

Список литературы

1. Рукоткина Л.А., Сорокин М.Ю. Глимепирид в современной гипогликемизирующей терапии: безопасность и эффективность // Сахарный диабет. 2012. № 2. С. 89–97.
2. IDF Diabetes Atlas 8th Edition. Brussels, 2017. 142 p.
3. Данные Центра электронного здравоохранения при Министерстве здравоохранения Кыргызской Республики. [Электронный ресурс]. URL: <http://cez.med.kg> (дата обращения: 21.02.2020).
4. Данные республиканского Национального статистического комитета Кыргызской Республики. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stat.kg/ru> (дата обращения: 21.02.2020).
5. Данные Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru> (дата обращения: 21.02.2020).

УДК 618.2-071.1

ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ ВЫЯВЛЯЕМОСТИ АКУШЕРСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ У БЕРЕМЕННЫХ С ОЖИРЕНИЕМ

^{1,2}Маркелова А.Н., ³Амри М.С.¹ГБУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, e-mail: Markelova-AN@mail.ru;²ГБУЗ «Пензенская областная клиническая больница им. Н.Н. Бурденко», Перинатальный центр, Пенза;³Национальный Исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: moumou.amri@yahoo.fr

В статье приводятся данные оценки частоты выявляемости акушерских осложнений у беременных женщин с экстрагенитальной патологией, а именно ожирением. Ожирение является проблемой двадцать первого века. Все чаще встречаются беременные с данной патологией. Ожирение, это результат формирования аномальных или чрезмерных жировых отложений, которые могут вредить здоровью. Диагноз ожирения ставится по результату определения индекса массы тела. Индекс рассчитывается как отношение массы тела в килограммах к квадрату роста в метрах ($\text{кг}/\text{м}^2$). Согласно Всемирной организации здравоохранения, диагноз «ожирение» у взрослых ставится, если индекс массы тела больше или равен 30. Обследовано три группы беременных с данным заболеванием: первая группа – женщины с ожирением первой степени, вторая группа – женщины с ожирением второй степени и третья группа – женщины с ожирением третьей степени. В группу исследованных также вошли беременные женщины без ожирения. В ходе работы установлено, что частота возникновения осложнений пропорциональна увеличению степени ожирения у беременных. При этом ожирение также является predisposing фактором риска для развития осложненного течения беременности и неблагоприятных перинатальных последствий.

Ключевые слова: беременные, осложнения, анемия, преэклампсия

EVALUATION OF THE FREQUENCY OF DETECTABILITY OF OBSTETRIC COMPLICATIONS IN PREGNANT WOMEN WITH OBESITY

^{1,2}Markelova A.N., ³Amri M.S.¹Penza State University, Penza, e-mail: Markelova-AN@mail.ru;²Penza Regional Clinical Hospital named after N.N. Burdenko, Perinatal Center, Penza;³National Research «Mordovian State University named after N.P. Ogareva», Saransk, e-mail: moumou.amri@yahoo.fr

The article presents data on the frequency of detection of obstetric complications in pregnant women with extragenital pathology, namely obesity. Obesity is a twenty-first century problem. Pregnant women with this pathology are increasingly found. Obesity is the result of abnormal or excessive body fat that can be harmful to your health. The diagnosis of obesity is made by determining the body mass index. The index is calculated as the ratio of body weight in kilograms to the square of growth in meters (kg / m^2). According to the World Health Organization, the diagnosis of obesity in adults is made if the body mass index is greater than or equal to 30. Three groups of pregnant women were examined: group first – women with obesity of the first degree, group second – women with obesity of the second degree and group third – women with obesity of the third degree. The study group also included pregnant women without obesity. In the course of the work, it was found that the frequency of complications is proportional to an increase in the degree of obesity in pregnant women. Moreover, obesity is also a predisposing risk factor for the development of a complicated pregnancy and adverse perinatal consequences.

Keywords: pregnant women, complications, anemia, preeclampsia

В данный момент перинатальная медицина остается базисом для улучшения здоровья грядущих поколений [1–3]. Достижениями в здравоохранении, достигнутыми в настоящее время, являются снижение материнской и перинатальной смертности. Однако, не смотря на это, отмечается постоянная тенденция к увеличению частоты заболеваний у новорожденных, а именно у беременных женщин с отягощенным акушерско-гинекологическим анамнезом [4, 5].

Ожирение – одно из самых значимых хронических заболеваний с медицинской и социальной точек зрения, принявшее масштабы эпидемии (по данным ВОЗ). Темпы распространения ожирения во всем мире

постоянно растут, и, как следствие, пропорционально ему растет заболеваемость и смертность. Таким образом, данная проблема является актуальной с точки зрения современного здравоохранения.

Ожирение – одно из наиболее часто выявляемых патологических состояний, которое встречается от 15,5 до 26,9% случаев у лиц в экономически развитых странах [6]. С первых дней беременности в организме женщины происходит перестройка работы всех органов и систем, в том числе и гормональные изменения [7, 8]. Все физиологические адаптационные преобразования в организме беременной женщины происходят в ответ на возникающие при вы-

нашивании плода потребности. Данные потребности включают в себя: поддержание жизнедеятельности плода: прибавка объема циркулирующей крови, питание, обеспечение кислородом и выведение продуктов обмена; защита плода от дефицита питательных веществ и воздействия токсинов; защита организма матери от потенциально возможных осложнений со стороны экстрагенитальных патологий, подготовка к родам. При этом адаптационные возможности организма беременной зависят от совокупности ряда факторов, к которым относятся возраст беременной, генетические факторы, а так же одно из главных мест здесь занимает вес женщины. Дефицит, а чаще избыток массы тела – ожирение становятся причиной нарушения процессов адаптации при беременности.

Является нормальным увеличение массы тела женщины к концу беременности на 10-15 кг. Данная прибавка происходит за счет увеличения объема циркулирующей крови, внеклеточной жидкости, массы плода (около 3,5 кг), плаценты, околоплодных вод, молочных желез и жировой ткани. Считается нормальным прибавка веса женщины за счет жировой ткани на 3,5 кг. Так как во время беременности создаются благоприятные условия для развития жировой клетчатки, с точки зрения функционирования организма, это оправдано, так как способствует метаболической защите плода. Гормональные изменения заключаются в следующем: повышается синтез прогестерона, хорионического гонадотропина до 10 недели гестации каждые два дня в два раза, после чего снижается и остается на одном уровне до момента родов, повышается пролактин и плацентарный лактоген, повышается уровень эстрогенов. Но своего рода отрицательным моментом данных преобразований является то, что все эти изменения стимулируют отложение жировой ткани в организме [9, 10]. Следовательно, если изначально вес женщины был избыточный, еще большая его прибавка может стать пусковым моментом в развитии таких патологических состояний, как: гестационный сахарный диабет, гестационная артериальная гипертензия, внутриутробная задержка роста плода, угроза прерывания беременности, преждевременные роды, преэклампсия, бессимптомная бактериурия и другие.

В связи с этим остро возникает вопрос подробного изучения данной проблемы для выявления частоты возникновения риска для плода и профилактики возможных осложнений [11–13].

Цель исследования: оценка частоты выявления акушерских осложнений у бе-

ременных с такой экстрагенитальной патологией, как ожирение.

Сравнение полученных данных по группам в зависимости от степени ожирения, а так же с группой сравнения.

Установить зависимость частоты осложнений беременности от степени нарушения жирового обмена.

Материалы и методы исследования

На базе Перинатального центра ГБУЗ ПМКБ им. Н.Н. Бурденко была проведена оценка данных 80 историй родов беременных за I квартал 2017 г. Все женщины были в возрасте от 18 до 40 лет. В основу распределение групп была положена классификация по степени ожирения на основе индекса массы тела (ИМТ). В I группу (n = 20) вошли беременные с I степенью ожирения, во II группу (n = 20) беременные со II степенью ожирения. III группу (n = 10) составили беременные III степени ожирения. В группу сравнения вошли 30 беременных с нормальной массой тела.

Критерии включения в исследованные группы: возраст беременной от 18 до 40 лет; наличие у женщины одноплодной беременности; ИМТ 30–34,9 кг/м² был у женщин I-ой группы, страдающих ожирением I степени; ИМТ 35,0–39,9 кг/м² у женщин II-ой группы, с ожирением II степени; ИМТ более 40,0 кг/м² у женщин III-ей группы, то есть у женщин, с ожирением III степени. У беременных, входивших в группу сравнения ИМТ был 18,5–24,9; отсутствие сахарного диабета; отсутствие тяжелой экстрагенитальной патологии; отсутствие многоплодной беременности.

Критерии исключения из групп: возраст беременной до 18 и более 40 лет; отсутствие у женщины одноплодной беременности; ИМТ менее 30 и более 34,5 кг/м² у женщин I-ой группы; ИМТ от 35,0 до 39,9 кг/м² у женщин II-ой группы; ИМТ 25–29,9, наличие сахарного диабета; наличие тяжелой экстрагенитальной патологии; наличие многоплодной беременности.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием персонального компьютера, программы MedStat. Полученные данные обрабатывались методом статистики с использованием критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

При анализе данных историй болезней у беременных в первом триместре выявлена различная частота встречаемости угрозы прерывания беременности. Самая низкая вероятность 16,6% частоты воз-

никновения данного критерия была отмечена у лиц в 1 группе. В последующих группах показатель возрастал до 33,3% во 2 и 3 группе до 35,0%. Причем у лиц группы сравнения частота угрозы прерывания беременности была выявлена только в 10,0% случаев. При этом стоит отметить, что частота встречаемости угрозы прерывания беременности зависела от увеличения массы тела беременной.

Изучая параметры частоты возникновения осложнений нельзя не сказать об изменении количества эритроцитов и снижения содержания гемоглобина в единице объема крови в группах. В ходе исследования было выявлено, что наибольшая частота встречаемости анемии беременных была отмечена во 2 группе у 13,3% пациенток. Причем в 1 и 3 группе анемия была выявлена у женщин по 10,0% в группах. Стоит отметить, что в группе сравнения значение анемии было выявлено в 12,5% случаев.

К раннему токсикозу нужно относить рвоту беременных. По данным историй родов данный параметр был отмечен у 16,6% пациенток только в 1 группе. Следовательно не представляется возможным оценить влияние ожирения на данную патологию. Возможно, это связано с тем, что в перинатальном центре концентрируются пациентки с высокой и средней степенью риска развития осложнений. Требуется дальнейшее изучение и увеличение количества обследуемых женщин.

В исследованных группах оказалась высокая частота встречаемости гестационной гипертензии, что включало в себя цифры артериального давления выше 140 и 90 мм рт.ст. Самая низкая вероятность 23,3% частоты возникновения данного критерия была отмечена у лиц в 1 группе. В последующих группах показатель возрастал до 26,6% во 2 и 3 группе до 35,0%. Причем у лиц группы сравнения частота угрозы прерывания беременности была выявлена только в 7,5% случаев. Можно сделать выводы о прямой зависимости частоты встречаемости данного осложнения от степени ожирения.

В нашем исследовании также была отмечена симптоматика со стороны мочевыделительной системы в виде бессимптомной бактериурии и гестационного пиелонефрита.

Частота возникновения бессимптомной бактериурии была отмечена у 26,6% и 20,0% женщин в 2, 3 группах. При этом самая высокая частота выявляемости данной патологии 33,3% отмечена в 1 группе. Стоит отметить, что у паци-

енток группы сравнения бессимптомная бактериурия была отмечена у 25,0% беременных. Следовательно нет данных за прямую взаимосвязь степени ожирения и данной патологии.

В ходе исследования было выявлено, что наименьшая частота встречаемости гестационного пиелонефрита была отмечена во 2 группе у 6,6% пациенток. Причем в 1 и 3 группах параметр был выявлен у женщин по 10,0% в группах. При этом стоит отметить, что в группе сравнения значение гестационного пиелонефрита было выявлено тоже в 10,0% случаев. При данной патологии представляется невозможным оценить взаимосвязь степени ожирения и развития гестационного пиелонефрита.

Преэклампсия является неотъемлемым вариантом акушерских осложнений. Частота данного параметра была наиболее низкой у женщин 1 группы – 6,6% случаев. У беременных 2 и 3 групп вышеуказанный критерий составлял 10,0% и 20,0%. Нельзя не отметить, что в группе сравнения данный показатель был выявлен только у 5% женщин. В данном случае прослеживается четкая взаимосвязь между частотой возникновения преэклампсии и степенью ожирения.

В исследованных группах оказалась низкая частота встречаемости многоводия, составляя 6,6% женщин во 2 и 3 группах, причем в 1 группе данный показатель не встречался. При этом стоит отметить, что у беременных группы сравнения маловодие было выявлено в 10% случаев. Что не говорит о взаимосвязи данной патологии и степени ожирения женщины.

При анализе данных историй родов у беременных выявлена различная частота встречаемости дисфункции плаценты. Самая низкая 6,6% частота возникновения данной патологии была отмечена у лиц в 1 и 2 группах. В последующих группах показатель возрастал до 10,0%. Причем у лиц группы сравнения частота угрозы прерывания беременности была выявлена только в 7,5% случаев. Таким образом, мы не можем судить о увеличении данного осложнения от степени ожирения.

В ходе исследования было выявлено, что наибольшая частота встречаемости маловодия была отмечена только в 3 группе у 5,0% пациенток. При этом стоит отметить, что в группе сравнения значение маловодия было выявлено в 7,5% случаев. По этим данным мы не можем судить о влиянии ожирения на данную патологию. Тем более доказано влияние именно инфекционного фактора на развитие этого заболевания.

Частота встречаемости осложнений беременности у пациенток с ожирением (%)

	Осложнения беременности	Группа сравнения	I	II	III
1	Угроза прерывания беременности	10	16,6	33,3	35
2	Анемия беременных	12,5	10	13,3	10
3	Рвота беременных	—	16,6	—	—
4	Гестационная гипертензия	2,5	23,3	26,6	35
5	Бессимптомная бактериурия	25	33,3	26,6	20
6	Гестационный пиелонефрит	10	10	6,6	10
7	Преэклампсия	5	6,6	10	20
8	Многоводие	10	—	6,6	6,6
9	Дисфункция плаценты	6,6	6,6	10	10
10	Маловодие	—	—	5	5
11	ЗВУР	4,2	3,3	10	1

После проведения анализа данных было установлено, что задержка роста плода была отмечена в высоком процентном соотношении в группе нормы 7,5% и у женщин 3 группы 10,0%. Немного меньше этот показатель был в 1 и 2 группах, составляя 4,2% и 3,3% соответственно. На основании этого не представляется возможным судить о взаимосвязи степени ожирения и данного осложнения.

Все данные исследования приведены в таблице.

Выводы

Анализ частоты возникновения акушерских осложнений у беременных с ожирением свидетельствует о том, что данное состояние в не зависимости от степени увеличения массы тела является преморбидным фоном для развития осложнений беременности, родов, послеродового периода. В перинатальный и интранатальный период данное состояние способствует развитию неблагоприятных исходов для новорожденного.

Установлена прямая пропорциональная связь развития таких осложнений беременности, как угроза прерывания беременности, гестационная гипертензия, преэклампсия и степени ожирения беременных.

Исходя из полученных данных, можно заключить, что подготовка женщин к беременности была недостаточной. При условии снижения массы тела еще до наступления беременности, возможно было бы снизить частоту таких осложнений, как гестационный сахарный диабет, гестационная артериальная гипертензия, угроза прерывания беременности, преждевременных родов, преэклампсия, бессимптомная бактериурия и другие.

Таким образом необходимо улучшить подготовку женщин с ожирением к бере-

менности. Проводить работу по планированию беременности среди данной группы населения с целью снижения частоты перинатальных осложнений на этапе женской консультации.

Всех беременных с ожирением необходимо относить в группу риска по развитию осложнений как со стороны матери, так и плода. Необходимо уже при постановке на учет по беременности высчитывать индекс массы тела пациентки с определением дальней тактики ведения данных пациенток и рекомендациями по соблюдению диеты и образа жизни во время беременности. При этом, нужно понимать, что риск возникновения осложнений возрастает пропорционально степени ожирения.

Дальнейшее детальное изучение данной проблемы должно позволить снизить и предупредить частоту возникновения осложнений как со стороны матери, так и со стороны плода у пациенток с ожирением различной степени.

Список литературы

1. Иловайская И.А. Влияние ожирения у женщин на фертильность и вынашивание беременности // РМЖ. 2016. Т. 24. № 1. С. 32–37.
2. Намагуруева И.В., Шарыгина Д.С., Леберфарб Е.Ю. Алиментарное ожирение как фактор развития осложнений беременности // Новая наука как результат инновационного развития общества: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 17 частях. 2017. С. 16–19.
3. Catalano P.M., Shankar K. Obesity and pregnancy: mechanisms of short term and long term adverse consequences for mother and child. BMJ. 2017. Vol. 8. P. 356.
4. Howell K.R., Powell T.L. Effects of maternal obesity on placental function and fetal development. Reproduction. 2017. Vol. 153(3). P. 97–108.
5. Satpathy H.K., Fleming A., Frey D., Barsoom M., Satpathy C., Khandalavala J. Maternal obesity and pregnancy. Postgrad Med. 2008. Vol. 120 (3). P. 1–9.
6. Dodd J.M. Pregnancy: Managing obesity during pregnancy-what are the options? Nat Rev Endocrinol. 2015. Vol. 11 (12). P. 691–692.

7. Бисерова Н.Н., Тришина Т.А., Дунилина Е.В. Особенности течения беременности и родов у первородящих женщин, страдающих ожирением // Актуальные вопросы диагностики, лечения и реабилитации больных: материалы XVIII Межрегиональной научно-практической конференции ГБОУ ДПО «Пензенский институт усовершенствования врачей» Минздрава России. 2016. С. 61–62.
8. Mariona F.G. Perspectives in obesity and pregnancy. *WomensHealth (Lond)*. 2016. Vol. 12 (6). P. 523–532.
9. Радынова С.Б., Иванова Е.А. Осложнения беременности и родов у женщин с ожирением // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=28042> (дата обращения: 21.02.2020).
10. Баймусаева А.М., Демеева Н.М., Сериккызы С., Хасенова А.К. Течение беременности и родов, перинатальные исходы у женщин с ожирением // Научный аспект. 2019. Т. 8. № 1. С. 940–947.
11. Чабанова Н.Б., Василькова Т.Н., Шевлюкова Т.П., Хасанова В.В. Проблемы диагностики избыточной массы тела и ожирения во время беременности // Журнал научных статей. Здоровье и образование в XXI веке. 2016. Т. 18. № 2. С. 176–180.
12. Spradley F.T. Metabolic abnormalities and obesity's impact on the risk for developing preeclampsia. *Am. J. Physiol. Regul Integr. Comp. Physiol.* 2017. Vol. 312 (1). P. 5–12.
13. Bogaerts A., Witters I., Van den Bergh B.R., Jans G., Devlieger R. Obesity in pregnancy: altered onset and progression of labour. *Midwifery*. 2013. Vol. 29(12). P. 1303–1313.

СТАТЬИ

УДК 669.432

ТЕРМОДИНАМИКА СИСТЕМЫ Cu–Me–Fe–S–CH₄ (Me–Pb, Zn, As)

Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е., Аргын А.А., Кашаган А.Д.

Satbayev University, Алматы, e-mail: nurdos@bk.ru

В настоящей работе рассмотрена возможность прямого получения свинца из полиметаллических штейнов, применительно к условиям ТОО «Казцинк». Полиметаллические штейны заводской практики представлены расплавом сульфидов цветных металлов и железа. Большое значение для практики имеет исследование поведения сульфидов при совместном восстановлении природным газом и определении их равновесных концентраций в штейновой фазе. Рассмотрены термодинамические свойства сложных по составу полиметаллических штейнов системы Cu–R–Fe–S (R–Pb, Zn, As). Показано, что в заводских штейнах (область сечения Pb–PbS–FeS–Cu₂S) свинец растворен в металлической форме, количество которого зависит от температуры и состава. На основании термодинамического анализа взаимодействия компонентов штейна с природным газом установлено, что при восстановлении полиметаллических штейнов в первую очередь восстанавливается свинец, затем по мере снижения концентрации сульфида свинца начинают восстанавливаться железо и медь. Проведены термодинамические расчеты энергии Гиббса для реакций взаимодействия сульфида свинца с металлической медью и железом. Установлено, что рассмотренные реакции имеют отрицательные значения во всем исследованном температурном интервале – 1273...1573 К. Установленное положение указывает на возможность использования в качестве восстановителя сульфида свинца меди и железа, которые можно вводить в процесс в виде шлаков, содержащих оксиды меди и железа.

Ключевые слова: полиметаллический штейн, восстановление, природный газ, сульфид свинца, медь, цинк, состав, температура, черновой свинец

THERMODYNAMICS OF THE SYSTEM Cu–Me–Fe–S–CH₄ (Me–Pb, Zn, As)

Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Argyn A.A., Kashagan A.D.

Satbayev University, Almaty, e-mail: nurdos@bk.ru

In this paper, we considered the possibility of direct production of lead from polymetallic mattes, as applied to the conditions of Kazzinc Ltd. Polymetallic mattes of factory practice are represented by a melt of sulfides of non-ferrous metals and iron. Of great importance for practice is the study of the behavior of sulfides during joint reduction with natural gas and the determination of their equilibrium concentrations in the matte phase. The thermodynamic properties of complex polymetallic mattes of the Cu–R–Fe–S system (R–Pb, Zn, As) are considered. It was shown that in factory mattes (the region of the Pb–PbS–FeS–Cu₂S cross section), lead is dissolved in metallic form, the amount of which depends on temperature and composition. Based on a thermodynamic analysis of the interaction of matte components with natural gas, it was found that when polymetallic mattes are restored, lead is first restored, then, as the concentration of lead sulfide decreases, iron and copper begin to recover. The thermodynamic calculations of Gibbs energy for the reactions of the interaction of lead sulfide with metallic copper and iron are carried out. It was established that the reactions considered have negative values in the entire temperature range studied – 1273 ... 1573 K. The established position indicates the possibility of using lead and copper sulfide as a reducing agent, which can be introduced into the process in the form of slags containing copper and iron oxides.

Keywords: polymetallic matte, reduction, natural gas, lead sulfide, copper, zinc, composition, temperature, crude lead

Повышенный спрос потребления минерально-сырьевых и энергетических ресурсов Казахстана привел к увеличению числа освоенных для эксплуатации новых месторождений полезных ископаемых. В переработку начали вовлекаться сложные по минералогическому и химическому составу полиметаллические руды и концентраты, что привело к увеличению выхода полупродуктов и оборотных материалов, характеризующихся сложным химическим и фазовым составами. До определенного времени указанные продукты перерабатывались путем возврата их либо в голову процесса – на агломерирующий обжиг, либо на шахтную восстановительную плавку. В связи с резким ростом их объемов дальнейшее применение

таких приемов стало затруднительным, что потребовало поиска новых рациональных способов их переработки.

Одним из решений в направлении создания специализированной переработки свинцовых полупродуктов и оборотных материалов является действующая технология шахтной сократительной плавки (ШСП), используемая на ТОО «Казцинк». Цель самостоятельной, раздельной переработки практически всех полупродуктов и оборотных материалов в отдельно взятом агрегате – получение целевых продуктов: чернового свинца, штейна и цинксодержащих шлаков. Дальнейшая организация производства черновой меди из медно-свинцовых штейнов делает данную технологическую схему наиболее завершенной,

что является бесспорным преимуществом перед другими известными решениями [1]. Тем не менее, как показали исследования данных заводской практики, технология не обеспечивает высоких технологических показателей по извлечению меди, свинца и цинка в целевые продукты [2].

Процесс сопровождается большим выходом шлаков (~36%) и высоким содержанием меди и свинца – 0,47 и 1,79%, соответственно. Такие шлаки характеризуются наличием сложных фазовых ассоциаций, которые необходимо учитывать для выбора технологических параметров процесса [3–5]. Выход пыли – до 12%. Распределение цветных металлов в пыль составляет, %: Cu – 4,8; Pb – 3,3; Zn – 17,3. Высокая концентрация цинка в пыли снижает его извлечение в шлак, которое достигает ~65%. Извлечение мышьяка и сурьмы в пыль составляет 43 и 41 %, соответственно.

Выход чернового свинца при плавке составляет – 22%. Перераспределение свинца в сторону ухудшения между продуктами плавки: в штейн – 26 %, в шлак – 2 %, в пыль – 3,5 %, не обеспечивает должного извлечения его в черновой свинец, которое едва достигает 60%.

Высокое распределение сурьмы (~27%) и мышьяка (9%) в черновой свинец снижает его качество и увеличивает материальные затраты в последующих процессах рафинирования.

Особый интерес представляют получаемые медно-свинцовые штейны, выход которых достигает 30%. Содержание меди в них меняется в широком диапазоне – от 25 до 45%. Высокое содержание в них свинца до 25%, мышьяка и сурьмы – до 4 и 1 %, соответственно значительно усложняет их переработку конвертированием. Повышенное содержание свинца в штейнах является источником потерь благородных металлов со штейнами. Дальнейшее конвертирование сложных по составу медно-свинцовых штейнов делает процесс рискованным и высоко затратным. При этом не обеспечивается получение черновой меди высокого качества: черновая медь соответствует низким маркам МЧС и МЧС-1. Дальнейшая их переработка огневом и электролитическим рафинированием сопровождается большими материальными и энергетическими затратами.

Сложившаяся обстановка требует изыскания новых решений: совершенствования технологии ШСП с получением более качественных по составу продуктов плавки, либо организации отдельной переработки медно-свинцовых штейнов с получением чернового свинца и товарного медного

штейна путем восстановительной их плавки. Теоретические основы восстановления металлов из чистых, двойных и тройных сульфидных систем природным газом имеют ограниченный характер и слабо освещены в научной литературе. Изучены лишь отдельные вопросы восстановления чистых сульфидов свинца, меди и цинка метаном и продуктами его конверсии, что требует проведения дополнительных исследований в данном направлении.

Цель настоящей работы – исследование взаимодействия компонентов медно-свинцового штейна природным газом и обоснование возможности восстановительной плавки медно-свинцовых штейнов с получением чернового свинца и медного штейна высокого качества.

Материалы и методы исследования

Оценка вероятного направления реакций, протекающих между компонентами медно-свинцовых штейнов и природным газом, проводилась по изменению термодинамических величин системы. Основное внимание уделено реакциям восстановления сульфидов цветных металлов и железа.

Термодинамический анализ проведен с учетом зависимости изобарно-изотермических потенциалов (свободная энергия Гиббса) реакций от температуры. Изменение свободной энергии Гиббса (ΔG_T°) рассчитывали по формуле:

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_T^\circ - \Delta S_T^\circ * T, \quad (1)$$

где ΔH_T° , ΔS_T° – стандартные значения энтальпии и энтропии системы, соответственно;

T – абсолютная температура, K.

При расчетах энергии Гиббса (ΔG_T°) искомым реакциям за стандартное состояние сульфидов цветных металлов и железа приняты чистые переохлажденные жидкие их сульфиды ($MeS_{ж}$). Для ряда летучих соединений цинка за стандартное состояние приняты газы. Исходные данные для расчетов получены из работы [6] и веб-сайта NIST-JANAF Thermo chemical Tables (<http://kinetics.nist.gov/janaf>).

Термодинамические расчеты реакций, принятые к анализу, проведены с использованием специальной программы, разработанной авторами.

Изменение константы равновесия реакции (Kp) в зависимости от температуры определяли исходя из выражения:

$$\Delta G_T^\circ = -RT \ln Kp = -19,155 * T \lg Kp, \quad (2)$$

где R – универсальная газовая постоянная ($R = 8,32 * 10^{-3}$ кДж/град*моль).

Результаты исследования и их обсуждение

Термодинамические свойства штейновых системы Cu-Pb-Fe-S (R-Pb , Zn , As)

По вопросу строения полиметаллических штейнов в научной литературе нет единого мнения [7–9]. Основу полиметаллических штейнов составляет диаграмма состояния Cu-Pb-Fe-S , ограниченная сечением $\text{PbS-FeS-Cu}_2\text{S}$, которая показана на рис. 1.

Характерная для медно-свинцовых штейнов диаграмма эвтектического типа $\text{PbS-FeS-Cu}_2\text{S}$ с точкой тройной эвтектики 560°C представлена на рис. 2. Псевдотройная система характеризуется полной взаимной растворимостью.

В многограннике $\text{Pb-Cu-Cu}_2\text{S-FeS-Fe}$ свинец находится в металлической форме. В области $\text{Pb-PbS-FeS-Cu}_2\text{S}$ он представлен металлической и сульфидной формами. В заводских штейнах (область сечения $\text{Pb-PbS-FeS-Cu}_2\text{S}$) свинец растворен в металлической форме, количество которого зависит от температуры и состава.

При восстановлении свинца из штейна в первую очередь из сульфида восстанавливается свинец, затем по мере снижения концентрации сульфида свинца начинают восстанавливаться железо и медь. По соображениям селективности разделения процесс ограничивают таким образом, чтобы медь оставалась в штейне в сульфидной форме, а железо – частично в металлической и сульфидной. Для этого в штейне оставляется небольшое количество суль-

фида свинца. При этом область заводских штейнов ограничивается линиями $\text{Cu}_2\text{S-PbS-FeS-Fe-Pb}$ [10].

Анализ строения штейновых расплавов и частных диаграмм состояния в системе Pb-Fe-Cu-S , ограниченной сверху сечением $\text{PbS-FeS-Cu}_2\text{S}$, показывает, что большую часть объема этой усеченной пирамиды составляет область расслаивания, которая опирается на грани $\text{Cu-Cu}_2\text{S-FeS-Fe}$, Fe-FeS-PbS-Pb , $\text{Pb-PbS-Cu}_2\text{S-Cu}$, и лишь одной грани $\text{Cu}_2\text{S-FeS-PbS}$ она не касается. К этой грани узкой полоской прилегает область заводских полиметаллических штейнов. Воздействуя на штейны процессами, приводящими к получению свинца и меди, можно выделить их в отдельную металлическую фазу.

Заводские полиметаллические штейны в различных количествах содержат сульфид цинка. Металлический цинк в штейнах при температурах выше точек плавления практически не содержится, поскольку при этих температурах очень высока упругость паров (температура кипения цинка 907°C). Для реальных штейнов характерен участок диаграммы, ограниченный сечениями $\text{Fe-FeS-Cu}_2\text{S-Cu}$, $\text{Cu}_2\text{S-FeS-ZnS}$ и Fe-Cu-ZnS (рис. 3).

Область цинксодержащих штейнов исследована недостаточно полно. Ряд сведений по данному вопросу приведено в работе [11]. Сульфид цинка обладает ограниченной растворимостью в штейнах. Так, при 1200°C растворимость ZnS в Cu_2S составляет 30%, что соответствует 20 мас. % Zn .

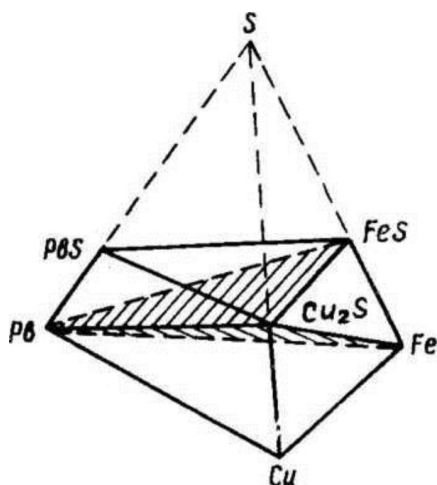


Рис. 1. Диаграмма Cu-Pb-Fe-S

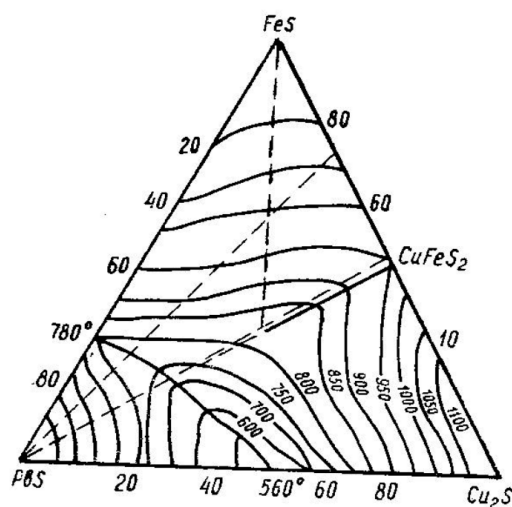


Рис. 2. Диаграмма состояния
системы $\text{PbS-FeS-Cu}_2\text{S}$

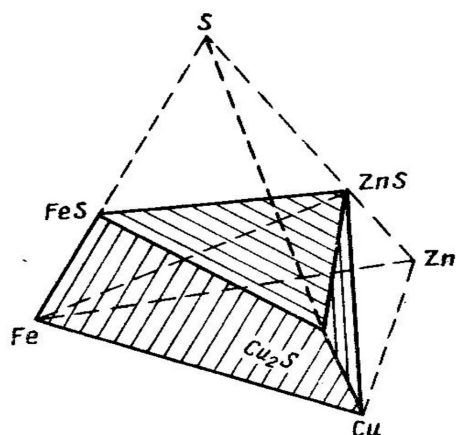


Рис. 3. Область штейнов в системе Cu–Fe–Zn–S

В сернистом железе растворимость цинка меньше и при этой температуре составляет 3,3%. Растворимость сульфида цинка в штейнах также снижается при замещении полусернистой меди сульфидом свинца. В полиметаллических штейнах при 1100°C повышение содержания меди с 14 до 45% приводит к увеличению содержания цинка, в виде ZnS, от 3,0 до 10%.

Содержание цинка в реальных штейнах обычно не превышает 8%, так как сернистый цинк уже в небольших количествах сильно повышает температуру начала кристаллизации. Особенно это присуще составам в области 30–35% меди, т.е. заводским штейнам.

Увеличение мышьяка в сульфидных рудах генерировал экспериментальные исследования по вопросу изучения термодинамических свойств двойных Me–As (Me–Cu, Pd, Zn) и сложных сульфидных систем Zn–Cu–As–S, Zn–Pb–As–S, Zn–Cu–As–Pb–S. Фазовые соотношения и термодинамика равновесных фаз указанных систем подробно изучены в работе [12]. Наличие мышьяка в сульфид-

ных системах сопровождается образованием различных ассоциаций – интерметаллидов (соединения металлов с мышьяком) и сульфосолей. При нехватке серы в сульфидных системах наблюдается резкое повышение образования интерметаллидов меди и железа. Результаты проведенных исследований показали, что количество As значительно снижает температуры плавления чистых сульфидов, сульфосолей или их сплавов. Установлено, что $PbAs_2S_4$ (As-28,6 ат.%) плавится при температуре ~305°C, тогда как $Pb_3As_4S_9$ (As-25 ат.%) плавится неконгруэнтно при 458°C, а $Pb_9As_4S_{15}$ (As-14,3 ат.%) плавится инконгруэнтно при 549°C. $CuAsS$ (As-33,33 ат.%) плавится при 596°C, тогда как энаргит Cu_3AsS_4 , с низким содержанием мышьяка (As-12,5 ат.%), плавится при 672°C. Эффект увеличения сульфосолей содержащих свинец, по мере снижения температуры их плавления, больше, чем в системах с медью.

Полученные результаты имеют принципиальное значение для практики. Повышение содержания мышьяка в штейнах ведет к образованию сложных ассоциаций мышьяка (интерметаллиды, сульфосоли) и оказывает сильное влияние на перераспределение меди и свинца между продуктами плавки.

Термодинамический анализ реакций восстановления сульфидов тяжелых цветных металлов и их сплавов природным газом

При плавке полиметаллического сульфидного сырья большое значение имеет определение поведения сульфидов при совместном их восстановлении природным газом. Механизм восстановления сульфидов цветных металлов и железа из медно-свинцовых штейнов природным газом можно представить системой реакций, приведенных в таблице.

Расчетные значения изменения энергии Гиббса (ΔG^0_T) восстановления сульфидов цветных металлов и железа природным газом

№	Реакция	Изменение энергии Гиббса, ΔG ⁰ _T , кДж/моль			Температурная зависимость ΔG ⁰ _T , кДж/моль
		Температура, К			
		1273	1473	1573	
1	2PbS _ж + CH ₄ = 2Pb _ж + C _{тв} + 2H ₂ S _г	−1,28	−18,88	−31,91	ΔG ⁰ _T = 150,63−0,122*Т
2	2ZnS _ж + CH ₄ = 2Zn _г + C _{тв} + 2H ₂ S _г	181,41	160,16	139,06	ΔG ⁰ _T = 446,5−0,209*Т
3	2Cu ₂ S _ж + CH ₄ = 4Cu _ж + C _{тв} + 2H ₂ S _г	75,36	70,75	63,15	ΔG ⁰ _T = 167,34−0,071*Т
4	2FeS _ж + CH ₄ = 2Fe _ж + C _{тв} + 2H ₂ S _г	61,94	50,03	38,35	ΔG ⁰ _T = 205,69−0,113*Т
5	4PbS _ж + CH ₄ = 4Pb _ж + CS _{2г} + 2H ₂ S _г	84,81	50,21	24,71	ΔG ⁰ _T = 382,8−0,24*Т
6	4ZnS _ж + CH ₄ = 4Zn _г + CS _{2г} + 2H ₂ S _г	450,21	408,32	366,68	ΔG ⁰ _T = 974,54−0,412*Т
7	4Cu ₂ S _ж + CH ₄ = 8Cu _ж + CS _{2г} + 2H ₂ S _г	238,11	229,49	214,86	ΔG ⁰ _T = 416,22−0,138*Т
8	4FeS _ж + CH ₄ = 4Fe _ж + CS _{2г} + 2H ₂ S _г	211,26	188,05	165,26	ΔG ⁰ _T = 492,92−0,222*Т

Расчетные значения изменения ΔG_T^0 и константы равновесия ($\ln K_p$) реакций восстановления сульфидов природным газом в температурном интервале 1273 ... 1673 К показаны на рис. 4.

Отрицательными значениями энергии Гиббса характеризуется исключительно реакция 1, протекание которой сопровождается образованием элементарного углерода и газообразного продукта – сероводорода (H_2S).

Из практики производства свинца известно, что металлическое железо и медь

вытесняют свинец из его сульфида. Это подтверждается термодинамическими данными, приведенными на рис. 5.

Реакции взаимодействия PbS с железом и медью сопровождаются отрицательными значениями энергии Гиббса во всем исследованном температурном интервале. Это позволяет использовать возможность восстановления сульфида свинца в присутствии оксидов железа и меди. Необходимые оксиды могут вводиться в процесс в виде отвальных шлаков.

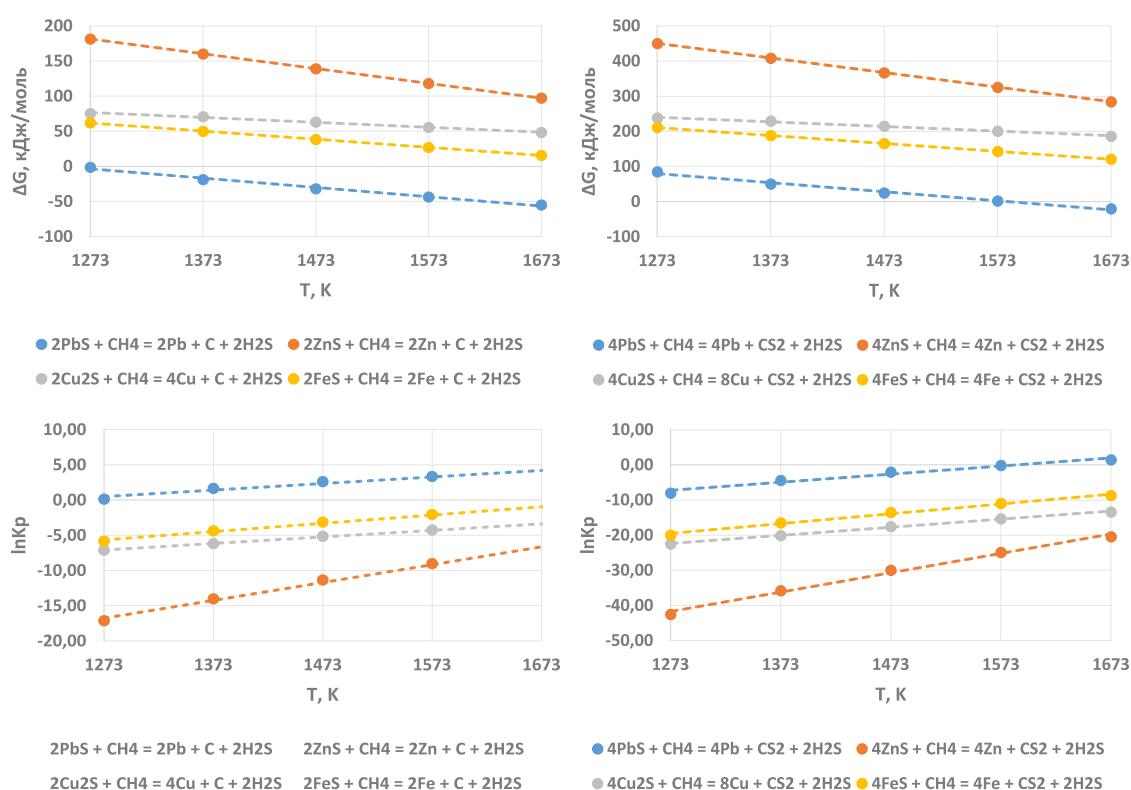


Рис. 4. Изменение ΔG_T^0 и $\ln K_p$ реакций (1)–(8) в температурном интервале 1273 ... 1673 К

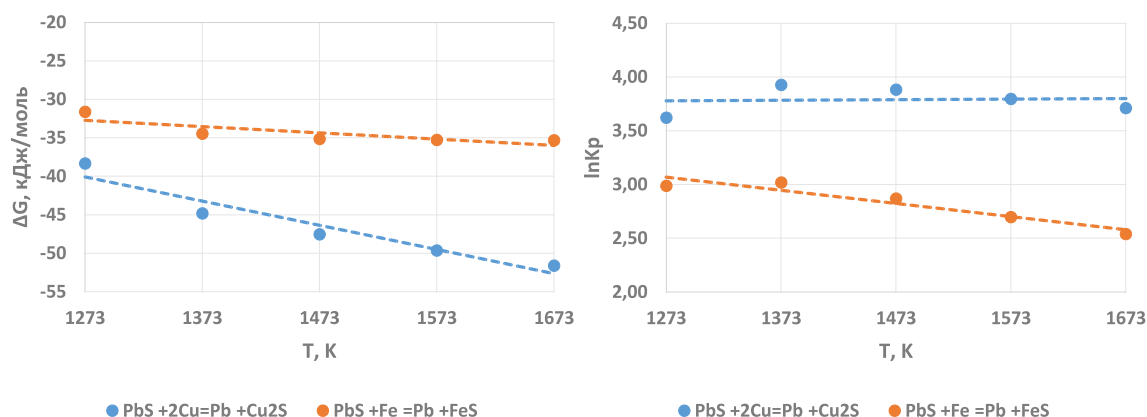
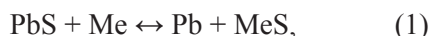


Рис. 5. Изменение ΔG_T^0 и $\ln K_p$ реакций восстановления сульфида свинца металлической медью и железом

Для установления равновесных концентраций сульфидов в штейне проанализируем с термодинамической точки зрения реакцию восстановления сульфида свинца металлическим железом и медью:



где Me – металлическое железо и медь.

Константа равновесия (K_p) реакции (1) имеет вид:

$$K_p = a_{\text{Pb}} \cdot a_{\text{MeS}} / a_{\text{PbS}} \cdot a_{\text{Me}}. \quad (2)$$

Из выражения (2) равновесное отношение концентраций сульфидов определит-ся зависимостью:

$$a_{\text{MeS}} / a_{\text{PbS}} = K_p \cdot a_{\text{Me}} / a_{\text{Pb}}. \quad (3)$$

Металлические свинец, медь и железо в интервале исследованных температур представляют собой конденсированные фазы, ограниченно растворимые в сульфидной фазе. Принимая активности чистых металлов равной единице для равновесных концентраций сульфидов можно записать:

$$a_{\text{MeS}} / a_{\text{PbS}} = K_p. \quad (4)$$

Результаты расчетных значений активности цинка в зависимости от изменения отношений FeS:PbS , $\text{Cu}_2\text{S:PbS}$, ZnS:PbS и температуры показывают, что при $T = 1500 \text{ K}$ совместное восстановление железа и свинца возможно, когда концентрация FeS более чем в 17 раз превышает концентрацию PbS . Еще большее, почти в 46 раз, превышение концентрации требуется для совместного восстановления меди и свинца.

Проведенный термодинамический анализ восстановления сульфидов из их сплавов природным газом показывает принципиальную возможность прямого получения металлического свинца. При этом имеется возможность селективно перевести свинец в черновой металл, медь, железо оставить в виде сульфидов в штейне, а цинк извлечь в возгоны.

Выводы

1. В результате анализа исследований термодинамики полиметаллических штейнов, представленных диаграммой состояния Cu-Pb-Fe-S установлено, что в многограннике $\text{Pb-Cu-Cu}_2\text{S-FeS-Fe}$ свинец находится в металлической форме. По-

казано, что в области заводских штейнов, описываемых сечением $\text{Pb-PbS-FeS-Cu}_2\text{S}$, свинец представлен металлической и сульфидной формами.

2. Показано, что наличие мышьяка в сульфидных системах Cu-R-Fe-S ($R - \text{Pb, Zn, As}$) сопровождается образованием различных ассоциаций – интерметаллидов (соединения металлов с мышьяком) и сульфосолей. При нехватке серы в сульфидных системах наблюдается резкое повышение образования интерметаллидов меди и железа.

3. На основании термодинамических расчетов энергии Гиббса реакций восстановления сульфидов из их сплавов природным газом показана принципиальная возможность прямого получения металлического свинца с селективным переводом меди и железа в штейн, а цинка – в возгоны.

Список литературы

1. Dosmukhamedov N.K. Increase of ecological safety and resource-saving in non-ferrous metallurgy. *European Journal of Natural History*. 2013. № 1. P. 43–46.
2. Досмухамедов Н.К., Жусупбеков С.С., Сатимова Е.Г. Методика оценки качества металлургических процессов // *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 4. С. 34–39.
3. Coursol P., Valencia N.C., Mackey Ph., Bell S., Davis B. Minimization of Copper Losses in Copper Smelting Slag During Electric Furnace Treatment. *JOM*. 2012. V. 64. P. 1305–1313.
4. 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.
5. Djordjevic P., Mitevska N., Mihajlovic I., Nikolic D. 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 Vol. 35. P. 202–207. DOI: 10.1080/08827508.2012.738731.
6. Turkdogan E.T. *Physical Chemistry of High Temperature Technology*. Academic Press, 1980.
7. Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е. Степень металлизации медно-свинцовых штейнов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 1. С. 9–16.
8. Schlesinger M.E., King M.J., Sole K.C., Davenport W.G. *Extractive Metallurgy of Copper*. 2011. 411 p.
9. Shishin D., Jak E., Decterov S.A. Thermodynamic assessment of slag–matte–metal equilibria in the Cu-Fe-O-S-Si system. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*. 2018. P. 456–475.
10. Ахмедов М.М., Теймурова Э.А. Переработка высокожелезистых сульфидных свинцовых концентратов. Баку, 2008. 252 с.
11. Ванюков А.В., Исакова Р.А., Быстров В.П. Термическая диссоциация сульфидов металлов. Алма-Ата: Наука, 1978. 272 с.
12. Tesfaye F., Taskinen P. Phase Equilibria and Thermodynamics of the System Zn-As-Cu-Pb-S at Temperatures Below 1173 K. *Helsinki*. 2011. 46 p.

УДК 621.867

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ

Еланцев В.В.

*Петербургский государственный университет путей сообщения им. Александра I,
Санкт-Петербург, e-mail: evv3012@gmail.com*

Тоннельные эскалаторы являются ключевым элементом транспортирующей инфраструктуры любого метрополитена. Обеспечение безопасности транспортировки пассажиров на эскалаторах метрополитена совместно с достижением эффективного распределения выделенных ресурсов возможно через анализ и контроль текущего технического состояния и его прогнозирование в будущий момент времени. В качестве основного источника информации при определении текущего и прогнозного технического состояния элементов подсистем эскалатора выступает комплекс параметрической информации. Для корректного выделения комплекса параметрической информации на основе анализа различной документации была построена декомпозиционная модель эскалатора, отображающая основные элементы, подсистемы и их взаимосвязь. В статье рассматривается классификация комплекса параметрической информации, включающей нормативные значения параметров, как самого эскалатора, так и окружающей обстановки, а также требования к выполнению технического воздействия на элементы подсистем эскалатора. Одновременно с классификацией, в статье рассматривается модель используемого способа анализа параметрической информации, а также предлагается новый подход к анализу параметрической информации основанный на элементах теории нечетких множеств. В заключении приведен результат работы предлагаемого алгоритма, в качестве которого высypает комплексная параметрическая оценка текущего технического состояния.

Ключевые слова: эскалатор, комплекс параметрической информации, классификация, декомпозиционная модель

TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT EFFICIENCY AND SAFETY OPERATION OF UNDERGROUND TUNNEL ESCALATORS. ANALYSIS OF PARAMETERS.

Elantsev V.V.

*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg,
e-mail: evv3012@gmail.com*

Tunnel escalators are a key element of the transportation infrastructure of any metro. The safety of passenger transportation on metro escalators and achievement of effective allocation of necessary resources is possible with help analysis and control of the current technical status and its forecasting in the future moment of time. The main source of information when determining the current and predicted technical status of elements of escalator subsystems is complex parametric information. In order to correctly identify the complex parametric information on the basis of analysis of various documentation, a decomposition model of the escalator was built. This model are showing the main elements, subsystems and their interrelations. The article considers the classification of complex parametric information, which includes the normative values of escalator parameters and escalator environment, as well as the requirements to perform technical impact on the elements of the escalator subsystems. In this paper describes model of the used method of analysis of parametric information, and also proposes a new approach to analysis of parametric information based on elements of fuzzy set theory. In conclusion, the result of operation of the proposed algorithm, which is a complex parametric assessment of the current technical state, is given.

Keywords: escalator, complex parametric information, classification, decomposition model

Сегодня город Санкт-Петербург представляет собой сочетание исторической центральной части, в пределах которой интенсивно протекает процесс преобразования обширных территорий промышленного назначения в локации с массовой многоэтажной жилой застройкой, а также растущими примыкающими периферийными и областными локациями [1–3], в которых наблюдается лавинообразное увеличение вновь вводимой жилой уплотнительной многоэтажной застройки. Одновременно с вводом в эксплуатацию жилых массивов увеличивается и количество личного автотранспорта нагружающего примыкающую дорожную сеть. Вместе с тем, темпы развития дорожной сети и городской транспортной инфраструктуры не всегда успевают за развитием жилищных массивов. В связи с этим, на существующую общественную транспортную инфраструктуру приходится двойной, а подчас и тройной пассажиропоток, исчерпывающий ранее заложенные ее проектные резервы.

Одним из самых часто используемых видов общественного транспорта является метрополитен [4]. Ключевую роль в обеспечении бесперебойной транспортировки пассажиропотока с наземных вестибюлей метрополитена на подземные платформы и обратно выполняют тоннельные эскалаторы. Как и любой сложный технический объект, эскалатор состоит из взаимосвязанных тесно взаимодействующих подсистем, которые в свою очередь состоят из элементов [5]. Исправность и работоспособность каждого элемента определяется сочетанием параметров, статус которых устанавливается при выполнении технического воздействия на подсистемы эскалатора, на выполнение которого необходимо определенное коли-

чество. В связи с этим, на существующую общественную транспортную инфраструктуру приходится двойной, а подчас и тройной пассажиропоток, исчерпывающий ранее заложенные ее проектные резервы.

чество ресурсов. Однако, ограниченность выделяемых ресурсов на поддержание эскалаторного хозяйства в безопасном работоспособном состоянии, и постоянно увеличивающийся пассажиропоток заставляют искать новые методы организации технического обслуживания и ремонта.

Целью данной работы является выявление перечня значимых для эксплуатации тоннельных эскалаторов параметров, анализ и управление которыми позволит повысить экономическую эффективность распределения выделенных ресурсов и расширить дифференциацию элементов подсистем эскалатора на различные системы технического обслуживания и ремонта, в первую очередь по состоянию.

Декомпозиция эскалатора

Для систематизации информации о составе подсистем и их взаимодействии предложена модель декомпозиции эскалатора на составные части. Представленная на рис. 1 модель включает основные функциональные элементы, ключевыми из которых являются главный вал и приводная подсистема.

Каждый элемент подсистемы эскалатора характеризуется набором параметров, определенных конструкторско-технологической, нормативно-справочной, производственно-технической и эксплуатационной документацией. Помимо параметров элементов подсистем эскалатора важную роль играют и параметры соответствующие каждому этапу технического воздействия. Таким образом, множество неоднородных данных, совокупность которых отображает текущее техническое состояние эскалатора и выполняемых технических воздействий является комплексом параметрической информации. Дискретная и/или непрерывная фиксация комплекса параметрической информации создаёт историческую ретроспективу являющуюся базой построения прогноза технического состояния эскалатора в следующий момент времени. В случае обобщения комплекса параметрической информации от группы однотипных эскалаторов и от всего эскалаторного хозяйства метрополитена формируется единая информационная база являющаяся основой для установления возможных закономерностей поведения, как самих эскалаторов, так и их подсистем, а также их взаимодействия между собой.

На основе декомпозиционной модели эскалатора и анализа документации описывающей нормативные значения параметров, а также требования к выполнению технического воздействия на элементы подсистем эскалатора далее рассмотрим ком-

плекс параметрической информации, анализ и контроль которой позволит однозначно определять текущее техническое состояние эскалатора и выполняемых работ.

Комплекс параметрической информации

В результате обобщенного анализа источников [6, 7] был сформирован перечень контролируемых параметров, представленный в табл. 1.

В основу рассматриваемой в табл. 1 классификации положены принципы системного подхода, описанные в работе [8]. В зависимости от назначения, были выделены две группы параметров, общие и специальные.

Общие – описывают общесистемные параметры эскалатора в условиях наклонного хода конкретной станции. Данная группа состоит из трех подгрупп – исходные, организационно-технические и параметры внешнего вида.

Остановимся более подробно на первой подгруппе – исходные параметры. Исходные параметры («анамнез») подразделяются на постоянные и переменные и необходимы для заполнения в информационном пространстве индивидуальной учётной карточки конкретного эскалатора в которой указываются общие паспортные данные, такие как дата ввода в эксплуатацию определяющая возраст, изготовитель, заводской номер, основные массогабаритные характеристики и прочие. Также при сборе и фиксации «анамнеза» конкретного эскалатора в процессе анализа комплекта документов устанавливаются индивидуальные особенности, такие как количество проведенных технических воздействий и их качество (при возможности), характеристики окружающего наклонного хода, в том числе его длина, состояние гидроизоляции и грунтов в месте залегания, а также индивидуальные конструктивные решения, принятые при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Немаловажную роль играют и такие параметры наземного вестибюля, как размеры, определяющие, в том числе длину пути пассажира (длину «грязной зоны») от входа в вестибюль до входной площадки эскалатора. Чем меньше длина «грязной зоны», тем большее количество уличного загрязнения попадает на механизмы эскалатора, влияя на расходование его технического ресурса. Помимо этого, в число общих параметров входит среднесуточный и среднемесячный пассажиропоток места установки эскалатора (конкретного станционного вестибюля (выхода)), также влияющий на расходование ресурса эскалатора. Параметры данной подгруппы прямо или косвенно влияют на все остальные параметры, за исключением подгруппы организационно-технических параметров.



Таблица 1

Контролируемые параметры

№ п/п	Наименование группы/под-группы параметров	Наименование параметров	Класс
1	Общие		
1.1	Исходные	Постоянные, закладываемые при проектировании, разработке и изготовлении	4
		Переменные, изменяющиеся в течение суток, недели, месяца, а также в зависимости от климатических условий и пр.	4
1.2	Организационно-технические	Комплектность документов (наличие комплекта документов – паспорта, акты, инструкции, договоры, справки, протоколы и др.)	1
		Соответствие НТД, КД, ТД, ПрД	1
1.3	Внешний вид	Износ (целостность, трещины, механические повреждения и т.п.)	2
		Маркировка/гравировка	2
2	Специальные		
2.1	Электротехнические	Сопротивление изоляции	3
		Защитное заземление (зануление)	3
		Характеристики тока и напряжения	3
		Наличие/отсутствие питания	2
		Подключение (электромонтаж)	2
2.2	Зацепление	Профиль зуба	3
		Толщина зуба	3
		Контактная поверхность	3
		Плавность хода	2
		Люфты	3
2.4	Физические	Давление	3
		Температура	3
		Длина (толщина, ширина)	3
		Скорость	3
		Ускорение	3
		Деформация остаточная	3
		Сила (усилие)	3
		Вес (масса)	3
2.5	Органолептические	Стук, скрежет, треск, шум, биение	2
		Задымление, искрение	2
		Вибрация	3
		Плавность перемещения элементов относительно друг друга	2
		Наличие следов (побежалость, копать, грязь, подтекание, нагар и т.п.)	2
2.6	Положение в пространстве	Положение относительно друг друга (в т.ч. зазоры и допуски/посадки)	3
		Положение относительно базовых точек (точек привязки)	3
		Посадочные места (поверхности и плоскости)	3
		Наличие/отсутствия элементов (в т.ч. покрытий/смазки)	2
2.7	Сварное соединение	Неправары	2
		Наплывы	2
		Подрезы основного металла	3
		Прожоги /подплавления основного металла	2
		Поры/включения	3

Параметры организационно-технической подгруппы необходимы в первую очередь для обеспечения версииности и поддержания в актуальном состоянии бухгалтерского документооборота.

Параметры подгруппы внешнего вида играют ведущую роль при выполнении визуального осмотра и существенно влияют на эксплуатационные свойства эскалатора.

Специальные – описывают индивидуальные параметры элементов подсистем эскалаторов и их соединений в условиях наклонного хода конкретной станции. Данная группа состоит из семи подгрупп – электро-технические, зацепление, физические, органолептические, положения в пространстве и параметры сварного соединения. Семь подгрупп группы специальных параметров исчерпывающе описывают техническое состояние эскалатора в любой момент времени.

Для удобства фиксации, распределения и последующего анализа параметров каждой подгруппы были выделены четыре класса характеризующиеся следующими свойствами:

1 Класс – Параметры, отражающие организационно-техническую готовность эскалатора и его подсистем к проведению ремонтно-ревизионного воздействия в процессе эксплуатации. Контролируются на подготовительных и заключительных этапах выполнения работ. Описываются двумя состояниями: наличия/соответствие (Да) и отсутствие/несоответствие (Нет).

2 Класс – Параметры, описывающие косвенные признаки, отражающие техническое состояние эскалатора и его подсистем в процессе эксплуатации. Контролируются на основном этапе выполнения работ. Описываются двумя состояниями: наличия/соответствие (Да) и отсутствие/несоответствие (Нет).

3 Класс – Параметры, описывающие прямые признаки, отражающие техническое состояние эскалатора и его подсистем в процессе эксплуатации. Контролируются на основном этапе выполнения работ. Для описания параметров предлагается исполь-

зовать элементы искусственного интеллекта и механизмы нечеткого вывода.

4 Класс – Параметры, отражающие базисное состояние эскалатора в целом в условиях наклонного хода конкретной станции. Подгруппа постоянных параметров не контролируется и необходима для корректной адресации при обращении данных внутри информационного пространства. Параметры, относящиеся к подгруппе переменных параметров, контролируются с разной периодичностью, в зависимости от назначения.

Для определения преобладающего класса параметров, представленных в табл. 1, выполнен количественный анализ, результаты которого представлены в табл. 2.

Превалирование параметров третьего класса (табл. 2) свидетельствует об особой значимости данных параметров при определении технического состояния эскалатора в текущий и будущий момент времени (прогнозирование). В связи с этим, именно параметрам третьей подгруппы необходимо уделить отдельное внимание. Для этого далее рассмотрим один из вариантов современного подхода к комплексной оценке параметров, основанный на теории нечетких множеств.

Алгоритм комплексной оценки параметров

В качестве одного из возможных способов организации системы технического воздействия на эскалаторное хозяйство Петербургского метрополитена в работе [9] была предложена концепция информационного пространства базирующегося на понятии наряд-допуск. При выполнении каждой операции n_j из состава наряда-допуска

$$НД = \{n_1, n_2, \dots, n_j, \dots, n_k\},$$

где k – общее количество операций, формируются числовые значения контролируемых параметров (x_j), которые объединяются в подмножество всех числовых значений $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_i\}$ соответствующих конкретной подсистеме эскалатора из множества $X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_j\}$ всех подсистем эскалатора.

Таблица 2

Количественное распределение параметров по классам

Критерий \ Класс	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Итого
Количество параметров в классе	2	13	21	2	38
Доля от общего количества, %	5,26	34,21	55,26	5,26	100

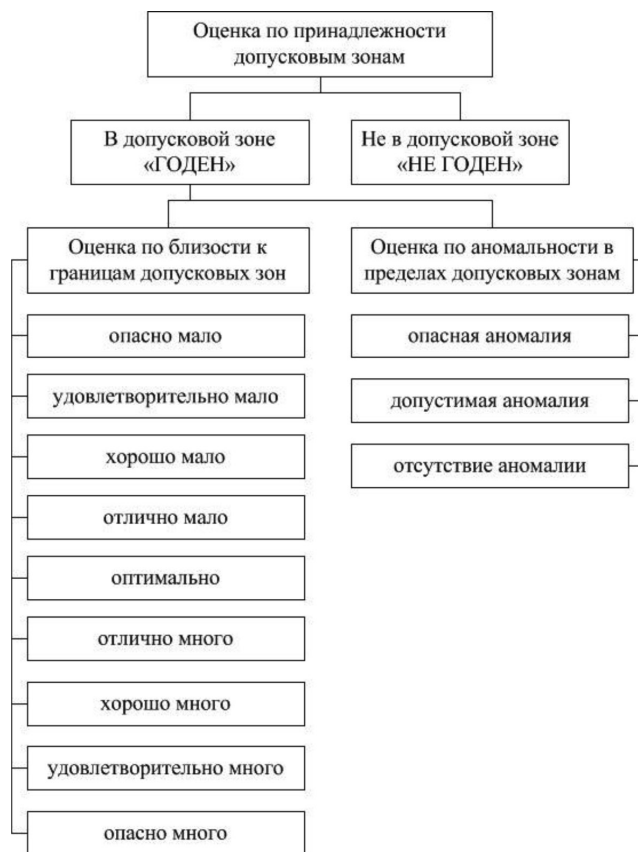


Рис. 2. Классификатор

Собственно оценка заключается в сопоставлении конкретного измеренного числового значения контролируемого параметра (x_i) и одного из классификационных множеств, описанных на рис. 2. Предложенный на рис. 2 классификатор [10] создает возможность оценить параметры внутри допусковых зон и использовать методы нечеткой логики для дальнейшего построения прогнозной модели технического состояния эскалатора.

С целью структурирования последовательности действий при анализе параметрической информации ниже описана пошаговая последовательность, образующая алгоритм комплексной оценки параметров.

Шаг 1.1 Оценка каждого параметра по критерию принадлежности допусковым зонам.

Результат: отнесение к классу «годен» или «не годен».

Шаг 1.2 Отбор из сохранённых в информационном пространстве измеренных значений параметров классифицированных как «годен» для оценки по критерию близости к границам полей допусков и «не годен»

для дальнейшего принятия управленческого решения по восстановлению.

Шаг 1.2.1 Выделение совокупности параметров x_i со значениями «годен».

Шаг 1.2.2 Определение подклассов параметров, полученных на шаге 1.2.1:

Правило 1: ЕСЛИ « $x \in A_{оп.м}$ », то « x – «опасно мало»,

Правило 2: ЕСЛИ « $x \in A_{оп.мн}$ », то « x – «опасно много»,

Правило 3: ЕСЛИ « $x \in A_{уд.м}$ », то « x – «удовлетворительно мало»,

Правило 4: ЕСЛИ « $x \in A_{уд.мн}$ », то « x – «удовлетворительно много»,

Правило 5: ЕСЛИ « $x \in A_{хор.м}$ », то « x – «хорошо мало»,

Правило 6: ЕСЛИ « $x \in A_{хор.мн}$ », то « x – «хорошо много»,

Правило 7: ЕСЛИ « $x \in A_{отл.м}$ », то « x – «отлично мало»,

Правило 8: ЕСЛИ « $x \in A_{отл.мн}$ », то « x – «отлично много»,

Правило 9: ЕСЛИ « $x \in A_{опт}$ », то « x – «оптимально».

Шаг 1.2.3 Запись параметров с дополнительной информацией в базу данных.

Результат: подразделения на подклассы «опасно мало», «удовлетворительно мало», «хорошо мало», «отлично мало», «оптимально», «отлично много», «хорошо много», «удовлетворительно много», «опасно много».

Шаг 1.3 Отбор из сохранённых в информационном пространстве измеренных значений параметров классифицированных как «годен» для оценки по критерию аномальности поведения в пределах границ допусковых зон

ШАГ 1.3.1 Выделение совокупности параметров x_p со значениями «годен»

ШАГ 1.3.2 Определение $xk_{\max}$ и $xk_{\min}$ для каждого параметра x_p .

ШАГ 1.3.3 Вычисление $\Delta xk = xk_{\max} - xk_{\min}$ для каждого параметра.

ШАГ 1.3.4 Сравнение значений Δxk с $\Delta x_{\text{доп. max}}$ и $\Delta x_{\text{доп. min}}$ правилами логического вывода:

Правило 1: ЕСЛИ $\Delta xk > \Delta x_{\text{доп. max}}$, ТО xk – опасная аномалия,

Правило 2: ЕСЛИ $\Delta x_{\text{доп. min}} \leq \Delta xk \leq \Delta x_{\text{доп. max}}$, ТО xk – допустимая аномалия,

Правило 3: ЕСЛИ $\Delta xk < \Delta x_{\text{доп. min}}$, ТО xk – отсутствие аномалии.

ШАГ 1.3.5 Запись параметров с дополнительной информацией в базу данных.

Описанный алгоритм оценки параметров элементов подсистем эскалатора являются базовым для методики комплексной идентификации технического состояния.

Результат: подразделения на подклассы «опасная аномалия», «допустимая аномалия», «отсутствие аномалии».

Шаг 1.4 Комплексная оценка технического состояния элементов подсистем эскалатора по следующим правилам:

Правило 1: ЕСЛИ одна из оценок «не годен», ТО *первая предварительная оценка* технического состояния элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам, в противном случае *первая предварительная оценка* технического состояния элементов подсистем эскалатора – работоспособное состояние по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам;

Правило 2: ЕСЛИ одна из оценок x_p «опасно мало» или «опасно много», ТО *вторая предварительная оценка* технического состояния элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние по критерию близости значений параметров к границам допусковых зон, в противном случае *вторая предварительная оценка* технического состояния элементов подсистем эскалатора – работоспособное состояние по критерию близости значений параметров к границам допусковых зон;

Правило 3: ЕСЛИ одна из оценок x_p опасная аномалия, ТО *третья предварительная оценка* технического состояния элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ допусковых зон, в противном случае *третья предварительная оценка* технического состояния элементов подсистем эскалатора – работоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ допусковых зон;

Правило 4: ЕСЛИ одна из трех предварительных оценок технического состояния элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние по критерию принадлежности значений параметров допусковым зонам, неработоспособное состояние по критерию близости значений параметров к границам допусковых зон или неработоспособное состояние по критерию аномальности поведения значений параметров в пределах границ допусковых зон, ТО техническое состояние элементов подсистем эскалатора – неработоспособное состояние, в противном случае техническое состояние элементов подсистем эскалатора – работоспособное состояние.

Результат: присвоение одной из четырех предварительных оценок.

Шаг 6. Сохранение в информационном пространстве комплексной оценки технического состояния элементов подсистем эскалатора для дальнейшего использования и выдача при необходимости потребной информации персоналу.

Схематическое изображение вышеописанного алгоритма комплексной оценки технического состояния элементов подсистем эскалатора опирающегося на понятие наряда-допуск, как структурного компонента информационного пространства, а также элементы теории нечетких множеств представлено на рис. 3.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования был выбран комплекс параметрической информации об элементах подсистем эскалатора, эскалаторе в целом, технических воздействиях, а также сопутствующей параметрической информации окружающей обстановки. При исследовании был использован метод системного анализа, заключающийся в первичной декомпозиции объекта исследования – эскалатора на составные части, последующего анализа выделенного комплекса параметрической информации и синтеза методики комплексной оценки параметров конкретного класса, основанной на теории нечетких множеств.

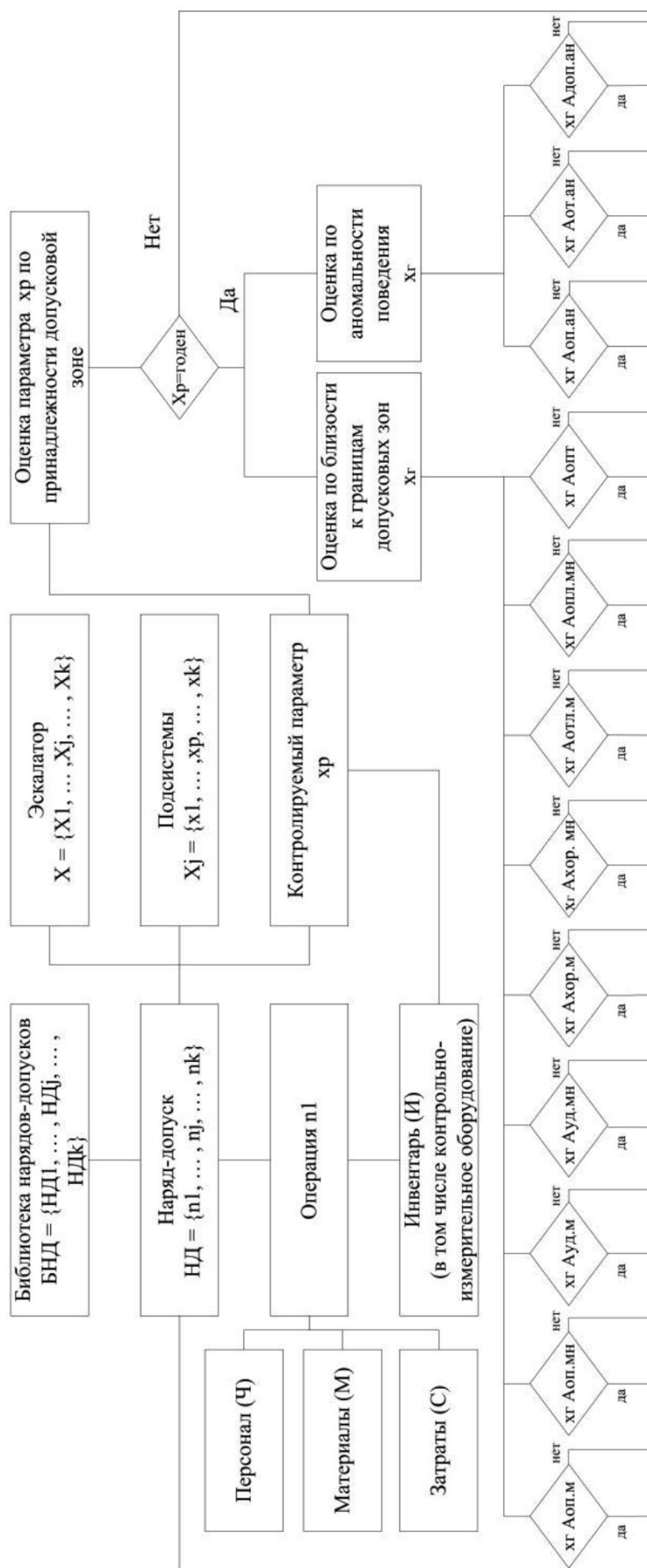


Рис. 3. Модель технического состояния элементов подсистем эскалатора

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве результатов работы предложенного алгоритма следует выделить повышение достоверности результатов измерений контролируемых параметров, сокращение времени анализа результатов ремонтно-ревизионных работ, сокращение трудозатрат на проведение ремонтно-ревизионных работ, обнаружение предотказных состояний на ранних стадиях развития дефекта, прогнозирование технического состояния элементов подсистем эскалатора в различных условиях эксплуатации, принятие решения о продлении срока эксплуатации элементов подсистем эскалатора с возможной заменой отдельных блоков и узлов. Предложенный подход способствует ретроспективному анализу причин отказов элементов подсистем эскалатора, оптимизации программы ремонтно-ревизионных воздействий на элементы подсистем эскалатора, оптимизации номенклатуры и количества запасных частей, узлов, материалов и агрегатов, а также переходу от планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания к эксплуатации по фактическому техническому состоянию.

Заключение

Предложенный алгоритм комплексной оценки технического состояния элементов подсистем эскалатора, базирующийся, в том числе на теории нечетких множеств обеспечивает формирование в информационном пространстве актуальной информации о техническом состоянии элементов подсистем эскалатора, установление фактов предрасположенности к неустойчивой работе на начальных этапах формирования дефекта или предотказного состояния элементов подсистем эскалатора, принятие обоснованных решений, направленных на предупреждение потенциальных отказов, и предотвращения нештатных и аварийных ситуаций при эксплуатации, а также прове-

дению в необходимых случаях ремонтно-ревизионных, а также предупредительных мероприятий по настройке, регулировке и отладке взаимодействия составных частей эскалатора.

Список литературы

1. Закон Санкт-Петербурга от 19 января 2009 г. № 820-7 «О Генеральном плане Санкт-Петербурга» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/8422495> (<http://kgainfo.spb.ru/zakon/generalplan/>) (дата обращения: 01.03.2020).
2. Закон Ленинградской области от 10 марта 2004 г. № 17-оз «Об установлении границ и наделении соответствующим статусом муниципальных образований Всеволожский район и Выборгский район и муниципальных образований в их составе» – Заневское сельское поселение» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.zanevkaorg.ru/generalnyiy-plan-mo-zanevskoe-gorods/> (дата обращения: 01.03.2020).
3. Закон Ленинградской области от 10 марта 2004 г. № 17-оз «Об установлении границ и наделении соответствующим статусом муниципальных образований Всеволожский район и Выборгский район и муниципальных образований в их составе» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. URL: https://xn----7sbapubb4afggnvkrx7c11.xn--p1ai/index.php?option=com_content&view=article&id=112:arhitektura&catid=11&limitstart=1&Itemid=254/ (дата обращения: 01.03.2020).
4. Петербургский метрополитен. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metro.spb.ru/strategia.html> (дата обращения: 01.03.2020).
5. Поминов И.Н. Эскалаторы метрополитена. Устройство, обслуживание и ремонт. М.: Транспорт, 1994. 320 с.
6. Руководство по ремонту эскалаторов РР-ЭМ 002-17. СПб.: ГУП «Петербургский метрополитен», 2017. 96 с.
7. Руководством по ремонту РР-ЭС 001-10. СПб.: ГУП «Петербургский метрополитен», 2011.
8. Волкова В.Н., Емельянов А.А. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2012. 848 с.
9. Еланцев В.В. К вопросу о повышении эффективности и безопасности тоннельных эскалаторов. Информационный комплекс оперативного мониторинга состояния эскалатора // Инновационные внедрения в области технических наук: сборник научных трудов по итогам V международной научно-практической конференции (Москва, 25 января 2020 г.). М.: Ареал, 2020. С. 27–31.
10. Смирнов В.А. Технология приемочного контроля сложной приборной аппаратуры с ограниченным ресурсом: дис. ... канд. тех. наук: 05.11.14: 03.12.15. Санкт-Петербург, 2015. 179 с.

УДК 004.89

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ XXXII ЛЕТНИХ ОЛИМПИЙСКИХ ИГР 2020 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**Крутиков А.К., Ключкин В.Л., Подковырин В.Д.***ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», Киров, e-mail: yadrodisk@yandex.ru*

В статье описывается эксперимент по прогнозированию количества золотых медалей и мест в неофициальном командном зачете Олимпийских Игр 2020 г. в городе Токио, с использованием обобщенно-регрессионной искусственной нейронной сети и искусственной нейронной сети с радиально базисными функциями. В качестве национальных сборных команд, для которых будет осуществлен прогноз, выбраны национальные команды Российской Федерации (РФ), Соединенных Штатов Америки (США), Китайской Народной Республики (КНР) и Японии, которая является хозяйкой проводимых игр. Для произведения прогноза разработаны модули в программной среде MATLAB. Целью исследования является оптимизация, повышение точности прогнозирования распределения медального плана мультиспортивных событий, с использованием модульной системы на основе искусственных нейронных сетей. Нейронные сети обладают высокой способностью к обобщению, анализируя объемные наборы данных, предоставляемых для прогноза. Способность к обобщению позволяет решать задачи аппроксимации и регрессии, в виде которых может быть представлена задача прогнозирования. Для проведения эксперимента разработаны обучающие выборки, фрагмент одной из них приведен в виде графика. Результаты экспериментов приведены в таблице. Произведен анализ полученных данных, а также анализ целесообразности дальнейшего использования разработанных модулей.

Ключевые слова: прогнозирование, искусственная нейронная сеть, спортивный результат, неофициальный командный зачет, обобщенно-регрессионная нейронная сеть, нейронная сеть с радиально-базисными функциями

FORECASTING THE RESULTS OF THE XXXII SUMMER OLYMPIC GAMES 2020 USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**Krutikov A.K., Kluykin V.L., Podkovyrin V.D.***Vyatka State University, Kirov, e-mail: yadrodisk@yandex.ru*

The article describes an experiment to predict the number of gold medals and places in the unofficial team competition of the 2020 Olympic Games in Tokyo, using a generalized regression artificial neural network and an artificial neural network with radially basic functions. The national teams for which the forecast will be made are the national teams of the Russian Federation (RF), the United States of America (USA), the people's Republic of China (PRC) and Japan, which is the host of the games. Modules in the MATLAB software environment have been developed for making a forecast. The aim of the study is to optimize and improve the accuracy of the process of planning sports training and forecasting the distribution of the medal plan for multi-sport events, using a modular system based on artificial neural networks. Neural networks have a high ability to generalize by analyzing the large data sets provided for the forecast. The ability to generalize allows you to solve approximation and regression problems, which can be represented as a prediction problem. For the experiment, developed the training sample, a fragment of one of them is given in the form of a graph. The results of the experiments are shown in the table, the analysis of the data obtained, as well as the analysis of the feasibility of further use of the developed modules.

Keywords: forecasting, artificial neural network, sports results, unofficial team standings, generalized regression neural network, a neural network with radial basis functions

Олимпийские игры с 1896 г. являются самым крупным мультиспортивным мероприятием в мире. XXXII Олимпийские игры пройдут в Японии в городе Токио в 2020 г. Для большинства ведущих стран мира, данное событие является ключевым в мире спорта, и используется во внешнеполитических и внутривнутриполитических целях.

Национальные олимпийские комитеты и государственные спортивные системы выстраивают подготовку спортивных сборных команд, с учетом идущих олимпийских циклов, а в некоторых случаях, ориентируясь на конкретные Олимпийские игры (ОИ). Например, спортивные реформы КНР к ОИ-2008 в г. Пекине (в том числе, закон о спорте в КНР [1]), планомерная подготовка и усиление национальных сборных РФ

к ОИ-2014 в г. Сочи [2]. Неофициальный командный зачет (НКЗ) – распространенная система оценки выступления команд на играх, которая не признается международным олимпийским комитетом, но активно тиражируется национальными средствами массовой информации, национальными олимпийскими комитетами и спортивными федерациями.

Подготовка к ОИ рождает конкуренцию спортивных государственных систем, не только в, непосредственно, спортивной ее части, но и в методической, материально-ресурсной, управленческой и кадровой областях. Оптимизация расходов на подготовку национальных команд и команд олимпийского резерва, оценка турнирного графика и ряда многих других факторов требует

тщательного планирования. Именно спортивное планирование такого рода относится к задачам долгосрочного или, в отдельных случаях, сверхдолгосрочного спортивного прогнозирования [3]. Спортивное прогнозирование является составляющей процесса спортивной подготовки спортсменов как индивидуальных, так и командных видов спорта. Результатами прогнозов пользуются спортивные функционеры, чиновники, тренерские группы, сами спортсмены, а также букмекеры. Временной промежуток зависит от целей и задач прогнозирования, и помимо перечисленного, можно выделить среднесрочные, краткосрочные и сверхкраткосрочные прогнозы [3].

Использование для достижения определенных целей современных технических разработок является залогом успешной конкуренции. К современным быстро развивающимся прикладным научным областям относятся информационные технологии, технологии искусственного интеллекта [4], методы машинного обучения и т.д. Все они активно применяются при решении задач прогнозирования, в том числе спортивного прогнозирования. Для планирования траекторий развития ситуаций и моделирования этих процессов с помощью ЭВМ разработаны системы поддержки принятия решений, экспертные системы, системы нечеткой логики. И это лишь малая часть тех технических и информационных средств, которые применяются для осуществления прогнозов. Как инструмент решения задач прогнозирования [5], в том числе спортивного [6, 7], успешно зарекомендовали себя и искусственные нейронные сети (ИНС). В данной работе речь пойдет об использовании таких ИНС, как обобщенно-регрессионные нейронные сети (GRNN) и нейронные сети с радиально-базисными функциями (RBF).

Целью проводимых исследований являются оптимизация и повышение точности процесса планирования спортивной подготовки как индивидуальных спортсменов, так и команд в целом, и прогнозирование возможного медального зачёта в мульти-спортивных состязаниях с использованием системы на основе ИНС.

Материалы и методы исследования

В качестве главного объекта исследований, в данной работе, выступает прогнозирование места в неофициальном командном зачёте на ОИ-2020 сборных команд четырех стран – РФ, США, КНР и Японии. Также прогнозируется количество золотых медалей ОИ-2020, завоёванных этими командами.

Научными сотрудниками лаборатории «Интеллектуальные системы» им. В.А. Байкова ФГБОУ ВО Вятского государственного университета разработаны два модуля программной системы прогнозирования: на основе обобщенно-регрессионной нейронной сети и радиально-базисной нейронной сети. Модули разработаны в среде MATLAB. Нейронная сеть, по сравнению с рядом других средств прогнозирования, имеет преимущество в способности принимать и обрабатывать наборы параметров, которые могут не учитываться другими приложениями. В спортивном прогнозировании подбор и анализ как основных, так и множества дополнительных параметров, влияющих на итоговые результаты, играет ведущую роль в достижении точности прогноза.

В зависимости от типов и особенностей спортивных событий необходимо менять структуру нейронных сетей, математические модели, используемые в каждом отдельном модуле ИНС и, соответственно, варьировать обучающие выборки (ОВ). Обучающая выборка, в зависимости от типа прогнозирования и сложности лингвистической переменной, являющейся непосредственным результатом прогноза, формируется из заранее подготовленных и обработанных наборов параметров. Например, для прогнозирования индивидуального результата легкоатлета, в обучающую выборку необходимо включить не только его контрольно-тестовые показатели и профильные результаты в избранной дисциплине, но и климатические показатели мест проведения сборов и самих турниров, фармакологические, антропометрические параметры и т.п.

Для эксперимента, описанного в данной работе взят набор параметров, рекомендуемых профессорами Эндрю Бернарда и Меган Буссе [8]. Согласно результатам их последнего исследования, а также результатам, изложенным в работе [9], ключевую роль в распределении мест в неофициальном командном зачёте играют: ВВП на душу населения государства, итоги выступления сборной на предыдущих ОИ, численность населения, фактор выступления в родной стране, и ряд специализированных спортивных параметров. Отдельно в обучающую выборку добавлено количество комплектов наград, разыгрываемых на ОИ. Обучающая выборка представляет собой массив векторов. Каждый вектор – это указанные выше параметры национальной сборной перед определенными ОИ, и каждому исходному вектору соответствует определённое число в результирующем векторе. Соответственно, в зависимости от цели прогноза, этим

числом может быть место национальной команды в НКЗ, либо число золотых медалей, завоеванных спортсменами этой сборной. Фрагмент результирующих векторов обучающей выборки для первого варианта прогноза приведен на рис. 1.

Как описывалось ранее, для эксперимента, разработаны два модуля, в основе каждого из которых лежит определённая нейронная сеть. Первый модуль содержит обобщенно-регрессионную нейронную сеть (GRNN) [10]. GRNN-сеть предназначена для решения задач регрессии, и в данном случае, прогнозирование будет представлено как механизм регрессии. GRNN-сеть будет копировать все имеющиеся обучающие векторы и использовать их для оценки так называемого отклика в произвольной точке сети. Конечный результат работы GRNN-модуля – это взвешенное среднее значение выходов по всем обучающим векторам, где величины весов отражают расстояние от этих векторов до той точки, в которой производится текущее оценивание. Первый промежуточный слой нейронов GRNN-сети состоит из радиальных элементов. Второй промежуточный слой нейронов содержит элементы, которые помогают оценить взвешенное среднее значение [10].

Второй модуль разработан на основе нейронной сети с радиально базисными функциями (RBF). RBF-сеть является нейронной сетью с прямыми связями, и используется преимущественно для решения задач аппроксимации [11]. Поэтому прогнозирование, с использованием разработанного модуля, будет представлять собой решение задачи аппроксимации. Фактически это задача поиска значения функции от несколькими переменных, где в качестве параметров будут выступать описанные ранее значения обучающей выборки. Структура RBF-сети приведена на рис. 2.

Первый слой нейронов является радиальным слоем, второй слой – линейный. Недостаток такой модели – серьезная зависимость размерности от обучающей выборки. То есть размерность радиального слоя должна соответствовать количеству векторов в обучающей выборке, соответственно, крупная выборка спровоцирует громоздкую RBF-сеть. В данной работе подобрана оптимальная обучающая выборка, и объём, который занимает компьютерная модель «оптимальной» RBF-сети, не превысил 1,22 Мб.

Результаты исследования и их обсуждение

Применяемая для экспериментов обучающая выборка построена на основе открытых источников в сети Интернет [12]. Нейронные сети обучены в соответствии с правилами, относящимися к соответствующей модели ИНС. Стоит отметить, что для GRNN-сети составлено две вариации обучающей выборки. Одна из выборок разделена на четыре набора, и фактически представляет четыре различных выборки, в соответствии с указанной страной. В другой выборке данные по всем рассматриваемым странам сведены в один массив, с отдельными числовыми элементами, являющимися кодами стран. Для RBF-сети подобного образца получить не удалось, и сеть обучалась на основе отдельных выборок по рассматриваемым странам.

Целевая ошибка обучения во всех экспериментах варьировалась от 0,1 до 0,0001, при этом изменение целевой ошибки не давало изменения результата прогноза. Минимальная среднеквадратичная ошибка (MSE) не превысила значения 0,00542.

Образец фрагмента обучающей выборки, составленной на основе параметров национальной сборной КНР приведен на рис. 3.

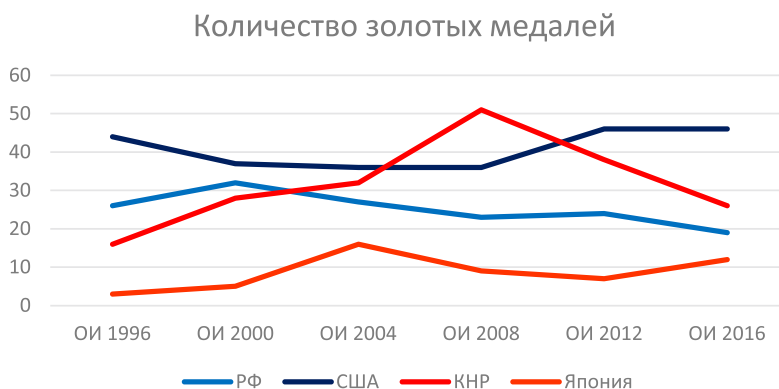


Рис. 1. Фрагмент обучающей выборки

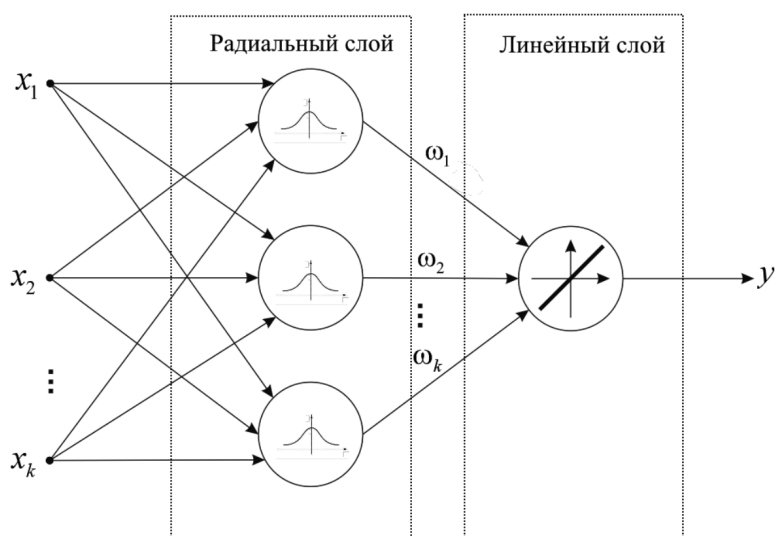


Рис. 2. Структура RBF-сети

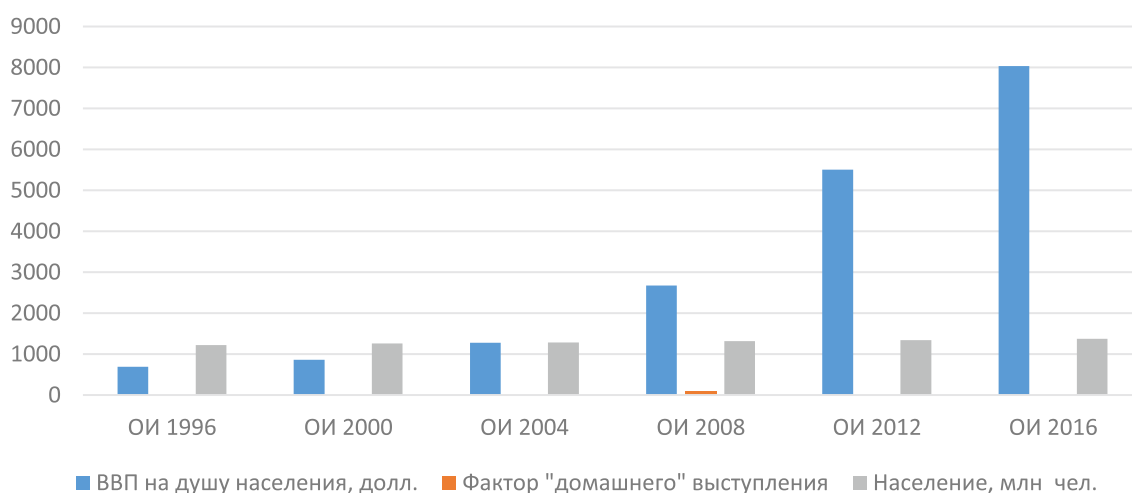


Рис. 3. Фрагмент обучающей выборки на основе параметров национальной сборной КНР

Результаты прогноза по золотым медалям на ОИ-2020 приведены в табл. 1. Важно отметить, что количество золотых медалей в первой таблице не является отдельным элементом обучения для экспериментов, в ходе которых получена вторая таблица. Таким образом, прогнозируемое число золотых медалей не связано с прогнозируемым местом.

Результаты прогноза по местам НКЗ ОИ-2020 оформлены и приведены в табл. 2. Прогноз будет актуален, в случае, если олимпийский турнир состоится в указанные Меж-

дународным олимпийским комитетом сроки. В результате прогноза, по данным большинства экспериментов, лидерство сохранит сборная США. В свою очередь, РФ и КНР сохранят места в неофициальном командном зачёте, аналогично Играм 2016 г. Определенный рынок может совершить Япония, с учетом фактора домашнего выступления, что показывают отдельные эксперименты с GRNN-сетью. Точность прогноза можно будет оценить, только при условии участия всех национальных сборных в полном составе, под флагом своего государства.

Таблица 1

Результаты прогноза

	GRNN (ОВ № 1), золотых медалей	GRNN (ОВ № 2), золотых медалей	RBF (ОВ № 1), золотых медалей
Олимпийская сборная РФ	24	24	19
Олимпийская сборная США	46	46	36
Олимпийская сборная КНР	26	26	12
Олимпийская сборная Японии	3	36	5

Таблица 2

Результаты прогноза

	GRNN (ОВ № 1), место	GRNN (ОВ № 2), место	RBF (ОВ № 1), место
Олимпийская сборная РФ	4	4	3
Олимпийская сборная США	1	1	1
Олимпийская сборная КНР	3	3	2
Олимпийская сборная Японии	15	3	5

Время обучения нейронных сетей, во всех экспериментах не превысило 45 секунд. С учетом временного промежутка прогноза (долгосрочный), отдельной таблицы с временем обучения не приводится, а фактическое время обучения во всех экспериментах считается незначительным, и не влияющим на результат прогноза.

Заключение

Эксперименты показывают, что тенденции спортивного прогнозирования, вне зависимости от его типа и временного промежутка, схожи. Также, вне зависимости от формулировки задачи на прогнозирования (аппроксимация, регрессия, кластеризация), нейронные сети весьма эффективно осуществляют прогноз, и дают на выходе конкретные численные значения с незначительными погрешностями [13–15].

С учетом высокой точности прогнозов, и дальнейшего совершенствования технологий прогнозирования, возможно использовать данные модули как аналитический инструмент при оценке медальных планов и планировании подготовки национального спортивного резерва.

Тестирование модулей на данный момент продолжается. Моделируются прогнозы различного типа, различных временных промежутков, в различных видах спорта. Планируется провести переход от прототипов в среде MATLAB, к программным реализациям на языках высокого уровня. Ведется работа по созданию механизма определения ряда ключевых параметров в обучающей выборке, т.е. набора прогнозоформирующих предикторов.

Список литературы

1. Закон о спорте КНР. Материалы VIII съезда Компартии КНР 29.08. 1995 VIII съезд партии. Пекин, 1995. 182 с.
2. Олимпийские Игры 2014 в г. Сочи [Электронный ресурс]. URL: https://ruxpert.ru/Олимпиада_в_Сочи_2014 (дата обращения: 01.02.2020).
3. Прогнозирование в спорте [Электронный ресурс]. URL: https://studopedia.ru/4_174852_lectsiya--prognozirovanie-v-sporte.html (дата обращения: 01.02.2020).
4. Мельцов В.Ю., Страбыкин Д.А. Вывод следствий с построением схемы логического вывода // Фундаментальные исследования. 2013. № 11–8. С. 1588–1593.
5. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. М.: ГИИТ, 2012. 496 с.
6. Perl J. Neural network-based process analysis in sport. In J. R.R. Dopico, J. Dorado de la Calle & A.P. Sierra (Eds.). Encyclopedia of artificial intelligence, III. 2008. P. 1212–1218.
7. Жуков С.В., Зеленский А.В. Использование нейронных сетей в построении оптимальной тренировочной траектории в биатлоне // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2017. № 5 (147). С. 81–88.
8. Не шесть золота? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.ru/forbes/issue/2004-08/20514-ne-schest-zolota> (дата обращения: 01.02.2020).
9. Ясницкий Л.Н., Павлов И.В., Черепанов Ф.М. Прогнозирование результатов Олимпийских игр 2014 года в неофициальном командном зачете методами искусственного интеллекта. // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=11206> (дата обращения: 01.02.2020).
10. Крутиков А.К. Прогнозирование спортивных результатов в индивидуальных видах спорта с помощью обобщенно-регрессионной нейронной сети // Молодой ученый. 2018. № 12. С. 22–26. URL: <https://moluch.ru/archive/198/48884/> (дата обращения: 09.03.2020).
11. Каллан Р. Нейронные сети: Краткий справочник. М.: Вильямс И.Д., 2017. 288 с.
12. IOC [Электронный ресурс]. URL: <https://www.olympic.org/the-ioc> (дата обращения: 09.03.2020).
13. Крутиков А.К. Особенности обучения нейронной сети векторного квантования при разработке специализированного программного модуля // Южно-Сибирский научный вестник. 2019. № 2. С. 150–154.
14. Мельцов В.Ю., Крутиков А.К., Долженкова М.Л., Чистяков Г.А., Подковырин В.Д. Применение нейросетевых алгоритмов кластерного анализа при решении задач прогнозирования спортивных событий // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 12. С. 250–252.
15. Крутиков А.К. Совершенствование подходов к разработке программных систем прогнозирования в спорте: материалы 57-й Междунар. науч. студ. конф. 14–19 апреля 2019 г. Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2019. 141 с.

УДК 662.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ОБОГАТИМОСТИ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОВ ЖЕЗДИНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

¹Мустахимов А.Т., ¹Зейнуллин А.А., ²Мусин М.Т.¹РОО «Казахстанская национальная академия естественных наук», Нур-Султан,
e-mail: amustakhimov@inbox.ru, karim_57@mail.ru;²ТОО «Корпорация Фостисс», Алматы, e-mail: musin@bk.ru

Целью исследований вещественного состава и обогатимости лежалых марганецсодержащих хвостов Жездинской обогатительной фабрики является поиск рациональной технологии их переработки для доизвлечения марганцевых минералов. Одним из крупных техногенных месторождений в Республике Казахстан, содержащий минералы марганца, является хвостохранилище Жездинской обогатительной фабрики, расположенный в Карагандинской области. Материалом для исследования явились марганецсодержащие хвосты Жездинской обогатительной фабрики. В работе проведена комплексная методика исследований, включая анализ существующих научных разработок и опыта их использования горно-металлургическими предприятиями, проведение экспериментальных исследований гранулометрического и химического, фракционного, рентгенофазового анализа лежалых марганецсодержащих хвостов. Проведена разведка техногенного месторождения, в результате которой на утверждение в Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых Республики Казахстан, были представлены запасы месторождения по состоянию на 01.01.2009 г. в количестве 2,5 млн т при содержании марганца 9,02 % и железа 2,87 %. Исследования марганецсодержащих хвостов показали, что минералы марганца представлены браунитом, псиломеланом, менее пиролюзитом (первичный и окисленный), коронадитом, кентролитом. Определены формы нахождения марганцевых минералов. Установлены корреляционные зависимости содержания марганца от глубины залегания. Результаты фракционного анализа показали, что хвосты фабрики относятся к категории гравитационно-легкообогащаемых материалов. Минералы марганца являются тонковкрапленными. Изучение обогатимости хвостов методом сухой магнитной сепарации показали на возможность марганцевого продукта, отвечающего требованиям к марганцевым концентратам для получения силикомарганца. На основании изучения и анализа вещественного состава и результатов технологических исследований сухой магнитной сепарации хвостов, сделан вывод, что для окончательного выбора рациональной технологии переработки хвостов Жездинской ОФ следует провести дополнительные укрупненно-лабораторные исследования с включением в схему обогащения операцию сухого измельчения хвостов до классов крупности менее 1,0 мм.

Ключевые слова: марганец, хвостохранилище, рентгенофазовый анализ, магнитная сепарация, марганцевые минералы

STUDY OF MATERIAL COMPOSITION AND ENRICHABILITY OF ZHEZDY PROCESSING PLANT MANGANIFEROUS TAILINGS

¹Mustakhimov A.T., ¹Zeynullin A.A., ²Musin M.T.¹RPA «Kazakhstan national Academy of natural Sciences», Nur-Sultan,
e-mail: amustakhimov@inbox.ru, karim_57@mail.ru;²President IIP «Corporation «Fosstis», Aimaty, e-mail: musin@bk.ru

The purpose of studying material composition and enrichability of Zhezdy Processing Plant mature manganiferous tailings is to find a rational technology for their processing for manganese minerals re-extraction. One of the large technogenic deposits in the Republic of Kazakhstan containing manganese minerals is Zhezdy Processing Plant tailing dump located in the Karaganda Region. For the purposes of study, manganiferous tailings of Zhezdy Processing Plant were taken. A comprehensive research methodology was applied, including analysis of the existing scientific developments and the experience of their use by mining and metallurgical enterprises, experimental studies of particle size and chemical, fractional, x-ray phase analysis of the mature manganiferous tailings. An exploration of the technogenic deposit was carried out, as a result of which reserves of the deposit in the amount of 2.5 mln tons as of 01.01.2009 with a manganese content of 9.02 % and iron 2.87 % were submitted to the State Reserves Committee of the Republic of Kazakhstan for approval. According to the manganiferous tailings study, manganese minerals are represented by brownite, black hematite, rarely gray manganese ore (primary and oxidized), coronadite and kentrolite. Forms of manganese minerals occurrence were determined. Correlation dependences of manganese content by the occurrence depth were established. According to the fractional analysis results, plant tailings belong to the gravitationally easily aggreable materials category. Manganese minerals are finely disseminated. According to the tailings enrichability study carried out using dry magnetic separation, there are all chances to produce manganese product that meets the requirements to manganese concentrates for the production of silicomanganese. Based on the study and analysis of material composition and results of technological studies of the tailings using dry magnetic separation, it was concluded final selection of the cost-effective technology for Zhezdy Processing Plant tailings processing requires additional large-scale laboratory studies to be carried out with the inclusion of dry tailings grinding to grain-size class less than 1,0 into the treatment process.

Keywords: manganese, tailings pond, X-ray phase analysis, magnetic separation, manganese minerals

Неуклонная тенденция истощения богатых месторождений руд цветных и черных металлов, наблюдающийся в последние десятилетия во многих развитых странах мира вызывают повышенный интерес к проблеме вовлечения в переработку техногенных минеральных отходов, накопленных в специальных предприятиях с целью обеспечения минерально-сырьевой базы существующих предприятий и экологической безопасности окружающей среды [1–4].

В настоящее время сохраняется стабильный спрос на марганцевую продукцию. Это связано с ростом сталелитейной и металлургической промышленности. При этом наблюдается нехватка в марганцевом сырье в металлургических предприятиях Казахстана и России, нехватка марганцевых концентратов коснулось так же стран СНГ, КНР и др. Около 95 % марганца, являющегося наиболее распространенным легирующим элементом, производится в виде ферросплавов и используется при выплавке стали. В условиях дефицита кускового качественного сырья для стабильной работы ферросплавных заводов вопросы обеспеченности их надежной сырьевой базой становятся первостепенными. Вовлечение в переработку лежалых техногенных отходов, содержащих минералы марганца, который входит в число стратегически важных минералов для производства сталей и сплавов специального назначения, и разработка новых технологии и аппаратов для их обогащения является одной из важных задач в области горнорудной и металлургической промышленности [5, 6].

Одним из крупных техногенных месторождений в Республике Казахстан, содержащий минералы марганца, является хвостохранилище Жездинской обогатительной фабрики, расположенный в Улытауском районе Карагандинской области. Хвостохранилище образовалось из отходов фабрики за период с 1965 по 1995 гг. и занимает площадь 32,3 га, с мощностью отложений от 0 до 15 м. Район расположен между зонами полупустынь и степей с редкой гидрографической сетью в пределах Центрально-Казахстанского мелкосопочника. В целом, район является маловодным, гидрографическая сеть представлена родниками, ручьями и речками, большая часть которых имеют воду только в паводковый период. Старое хвостохранилище образовалось из отходов фабрики за период с 1965 по 1995 гг. и занимает площадь 32,3 га, с мощностью отложений от 0 до 15 м.

Разведка марганца из техногенного минерального образования Жездинской обогатительной фабрики выполнена ТОО «Центргеолсьемка» по договору с ТОО «Корпорация «Фосстис» в 2002–2009 гг., в результате которой, на утверждение Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Республики Казахстан были представлены запасы лежалых хвостов фабрики по состоянию на 01.01.2009 год 2 478,6 тысяч тонн [7].

Целью исследований вещественного состава и обогатимости лежалых марганецсодержащих хвостов Жездинской обогатительной фабрики является поиск рациональной технологии их переработки для доизвлечения марганцевых минералов.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования явились марганецсодержащие хвосты Жездинской обогатительной фабрики. В работе проведена комплексная методика исследований, включая анализ существующих научных разработок и опыта их использования горно-металлургическими предприятиями, проведение экспериментальных исследований гранулометрического и химического, фракционного, рентгенофазового анализа лежалых марганецсодержащих хвостов. Также проведены исследования обогатимости хвостов методом сухой магнитной сепарации.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследования марганецсодержащих хвостов показали, что минералы марганца представлены браунитом, псиломеланом, менее пиролюзитом (первичный и окисленный), коронадитом, кентролитом, кроме этих минералов отмечено присутствие глобулярного пирита размером 0,15–0,25 мм в обломке сланцев. Повсеместно развит гематит (выщербленный, окисленный, пористый) как в виде свободных зерен, так и в полях развития браунита и псиломелана. Нерудные минералы представлены кварцем и полевыми шпатами и на 65–70 % находятся в свободных зонах крупностью 0,016–1,5 мм, преобладает размер 0,5–1,5 мм. Следует отметить, отвальные хвосты вследствие обширного воздействия на них осадков и других метеоусловий характеризуются повсеместным окислением марганцевых форм, превращением первичных во вторичные, появлением марганцевых охр и землистых разностей. Распределение минералов в лежалых хвостах фабрики приведено в табл. 1 [7].

Таблица 1
Минеральный состав лежалых хвостов
Жездинской ОФ

Наименование минералов	Содержание, %
Псиломелан	10,0
Браунит	6,0
Пиролюзит	5,0
Магнетит, гематит	2,8
Пирит	Знаки
Кварц	35,0
Калиевый полевой шпат	31,0
Плаггиоклаз	2,0
Слюда	4,0
Кальцит	2,0
Доломит	2,0
Всего	100,0

Авторами отчета [7] определена форма нахождения основных марганцевых минералов:

Браунит Mn_2O_3 представляет собой редко первичные (неизменные) формы с преобладающими размерами зерен 0,3–0,4 мм в количестве 8–12%. Остальная часть интенсивно дроблена, трещиновата, выщерблена и корродирована. Формы сростков браунита:

– с кварцем – 25–30%, где браунит выполняет трещины, межзерновые пространства, замещает от периферии к центру;

– с полевыми шпатами – 25–30%, где браунит развит по границам срастания кристаллов, выполняет трещины и пустоты, цементирует обломки зерен;

– с псиломеланом – 28–32%, где браунит замещается последним, либо слагает с ним отдельные слои и прожилки, выполняет трещины и пустоты выщелачивания, образуют близкие к коллоидно-зоновым агрегатам;

– с баритом – 3–5%, где браунит замещает последний;

– с гематитом – 5–8%, где в полях развития браунита располагаются измененные кристаллы гематита.

Псиломелан ($nMnOMnO_2 \times nH_2O$) – форма выделений чаще неправильная, сильно корродированная, изъеденная, выщербленная, менее игольчатая, коллоидная, изометрическая, землистая. Свободные зерна имеют размер от 0,4–0,6 мм. Для него свойственны следующие формы срастаний: с кварцем – 20–25%; с полевыми шпатами – 28–30%; с баритом – 10–12%; с браунитом – 25–30%.

Коронадит ($PbMnMn_6O_{14}$) – свинецсодержащий минерал марганца, представлен единичными находками обломков зерен,

изъеденных, корродированных и замещающих кальцитом. Образованию его способствовало, видимо, гипергенная обстановка, при которой происходило разложение браунита. Размер выделений коронадита 0,5–0,7 мм.

Кентролит ($Pb_3Mn_4Si_3O_{15}$) – свинцово-кремнистый минерал марганца представлен пластинчатыми образованиями в полях развития браунита и псиломелана. Размер пластинок 0,2–0,3 мм. Количество минерала не превышает 3%. Также в работе [7] исследовательской группой произведен ряд статистических обработок для характеристики марганцевого оруденения. Рассчитанный по 323 рядовым пробам коэффициент вариации содержания марганца (21,2%) свидетельствует о равномерном распределении марганца. По пробам произведены расчеты зависимостей между содержанием марганца и глубиной залегания.

Коэффициент корреляции составил:

$$r_{Mn-h} = \frac{k}{\sqrt{\sigma_x^2 \times \sigma_c^2}} = \frac{4,11}{\sqrt{3,84 \times 8,46}} = 0,72.$$

Значения вычисленного коэффициента корреляции говорят о хорошей корреляционной зависимости между содержанием марганца и глубиной залегания (0,72).

В процессе геологоразведочных работ был проведен полуколичественный спектральный анализ с определением содержания второстепенных химических элементов по 10 групповым пробам. На основании результатов анализа был сделан вывод о том, что содержание редких элементов в хвостах не представляет практического интереса. Данные по вещественному составу лежалых хвостов сведены в табл. 2 [7].

Химические анализы проб, отобранных из разных участков, из разных глубин хвостохранилища показали, что в хвостах содержатся в среднем 9,5–10,14% марганца, 2,15–2,4% железа, 55,5 кварца, 12,10% оксида алюминия. Характерной особенностью хвостов Жездинской ОФ является низкое содержание фосфора 0,036–0,04% и серы 0,13%.

Фракционный анализ марганецсодержащих хвостов проведен с применением жидкости Клеричи, при плотности 2,82 г/см³. Результаты фракционного анализа, приведенного в табл. 3 показывают, что лежалые марганецсодержащие хвосты можно отнести к гравитационно легко обогатимым материалам. Выход тяжелой фракции с содержанием марганца 30,50% составил 34,00% при высоком извлечении марганца равном 96,00%.

Таблица 2

Химический состав лежалых хвостов Жездинской обогатительной фабрики

Элементы и соединения	Ед. изм.	По групповым пробам 2002 г. (среднее)	По технологической пробе 2009 г.
Марганец	%	9,4	9,5
Железо	%	2,50	2,15
Глинозем	%	10,40	12,1
Кремнезем	%	58,5	55,50
Оксид кальция	%	1,35	1,20
Оксид магния	%	0,86	1,35
Оксид калия	%	6,07	5,72
Оксид натрия	%	0,41	0,50
Оксид бария	%	1,21	не опр.
Диоксид титана	%	0,25	0,32
Сера общая	%	0,15	0,13
Фосфор	%	0,038	0,036
Свинец	%	0,16	0,21
Цинк	%	0,015	0,02
Медь	%	0,007	0,018
Мышьяк	%	< 0,005	не опр.
Сурьма	%	< 0,001	не опр.
Кадмий	%	< 0,005	не опр.
Фтор	%	0,047	не опр.
п.п.п.	%	3,69	не опр.
Ртуть	г/т	< 0,02	не опр.
Золото	г/т	—	не опр.
Серебро	г/т	—	не опр.

Таблица 3

Результаты фракционного анализа лежалых хвостов пробы (2000 г.)

Фракция	Выход, %	Содержание, %					
		Mn	Fe	SiO ₂	P	S	Al ₂ O ₃
Тяжелая фракция	34,00	30,50	3,21	28,07	0,05	0,36	8,22
Легкая фракция	66,00	0,65	1,60	69,63	0,03	0,01	14,05
Итого	100,00	10,60	2,15	55,50	0,036	0,13	12,07
		Извлечение, %					
Тяжелая фракция	34,00	96,00	50,76	17,19	4,72	94,15	23,15
Легкая фракция	66,00	4,00	49,24	82,81	95,28	5,85	76,85
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 4

Гранулометрическая характеристика лежалых хвостов пробы (2009 г.)

Классы крупности, мм	Выход, %	Содержание Mn, %	Распределение Mn, %
–5 + 2	1,70	11,07	1,93
–2 + 1	5,11	8,49	4,45
–1 + 0,5	15,30	9,65	15,16
–0,5 + 0,1	71,02	8,94	65,17
–0,1 + 0,074	0,99	16,32	1,66
–0,074 + 0,044	3,08	22,95	7,26
–0,044 + 0	2,80	15,20	4,37
Итого	100,0	9,74	100,0

Проведены исследования гранулометрического состава хвостов, результат которых представлен в табл. 4. Анализ результатов показывает, что выход класса $-1,0 + 0,0$ мм составляет 94,19% в котором сосредоточено 93,62% марганца. Следует отметить, что в классе $-1,0 + 0,10$ мм сосредоточено 80,33% марганца при выходе этого класса 86,32% от исходного. Характерно, что с понижением крупности наблюдается увеличение содержания марганца в хвостах [7].

В технологических исследованиях марганецсодержащие хвосты крупностью $-5 + 0,0$ мм поступали на сухую магнитную сепарацию, которая проводилась на лабораторном электромагнитном сепараторе 138-1. Результаты исследования представлены в табл. 5.

В результате исследования были установлены зависимости выхода и качества магнитного продукта от напряженности магнитного поля. Был сделан вывод о том, что, изменяя напряженность магнитного поля от 2000 до 3000 эрстед, можно получить кондиционный марганцевый концентрат с содержанием марганца от 44,65% до 31,18%. При этом извлечение марганца в концентрат соответственно составят лишь 44,73% и 66,99%, то есть допускаются существенные потери марганца в хвосты сепарации. Это значит, что предложенная ранее технология не является оптимальной.

В 2018 г. РОО «Казахстанская национальная академия естественных наук» в рамках грантового проекта: «Разработка технологии переработки ТМО марганецсодержащих хвостов Жездинской ОФ» провел новые исследования по обогащению лежалых хвостов сухой магнитной сепарацией [8].

Для выбора оптимальной технологии переработки марганецсодержащих хвостов Жездинской ОФ необходимо было провести дополнительные исследования для подтверждения ранее полученных результатов по исследованию вещественного состава и обогатимости марганецсодержащих хвостов. Так как техногенное месторождение в течение длительного времени (более 10 лет) находилось под воздействием атмосферного влияния.

С разных участков техногенного месторождения взята представительная проба. Исследования проб проводились в филиале «Химико-металлургический институт им Ж. Абишева» РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан».

Для изучения вещественного состава хвостов обогащения Жездинской ОФ применен рентгенофазовый анализ на дифрак-

тометре ДРОН-2,0, с использованием CoK_α излучения, $\lambda - 1,7902 \text{ \AA}$.

Идентификация основных минеральных фаз в пробе произведена по интенсивностям линий на дифрактограмме, согласно каталогу ASTM.

Рентгенофазовый анализ проб, проведенный на дифрактометре ДРОН-2,0, подтвердил результаты ранее проведенных исследований по изучению вещественного состава минеральных хвостов Жездинской ОФ.

Исследования вещественно состава рентгенофазовым анализом позволило установить, что хвосты Жездинской обогатительной фабрики представлены минералами трехвалентного марганца, полевым шпатом, кварцем, слюдой с незначительными включениями других элементов.

Гранулометрический анализ проб проведен на лабораторном просеивающем сепараторе – СПЭ-2002, полученные данные представлены в табл. 6.

Проведенный гранулометрический анализ хвостов показал, что с понижением крупности, содержание марганца в мелких и тонких классах повышается. Данные табл. 6 показывают, что минералы марганца наиболее полно раскрываются в классе крупностью $-0,071 + 0,0$ мм, где содержание марганца равно 31,84%, при извлечении 20,00%. Основное количество марганца сосредоточено в классах крупности $-1,0 + 0,0$ мм 91,44%.

Для магнитного обогащения рассматриваемой пробы использовали сильномагнитный сепаратор РС-В 12/10-12.018-2012.

Схема магнитного обогащения приведена на рисунке. Основная сепарация осуществлялась при напряженности магнитного поля 7000 э, полученную при этом немагнитную фракцию подвергали перечистке при 11000 э. Результаты магнитной сепарации представлены в табл. 7.

Результаты сухой магнитной сепарации представлены в табл. 7.

Из данных табл. 7 следует, что суммарный выход магнитной фракции составляет 52,23% с содержанием 18,6% марганца. В магнитную фракцию извлечены 89,21% марганца, 54,91% железа, 38,75% двуокиси кремния и 48,80% оксида алюминия.

Заключение

Исследование вещественного состава хвостов позволило определить содержание основных марганцевых минералов и формы их нахождения. Статистическая обработка результатов исследований содержания минералов в хвостах позволило определить коэффициент вариации равный 21,2%, что свидетельствует о равномерном распределении марганца на месторождении.

Таблица 5

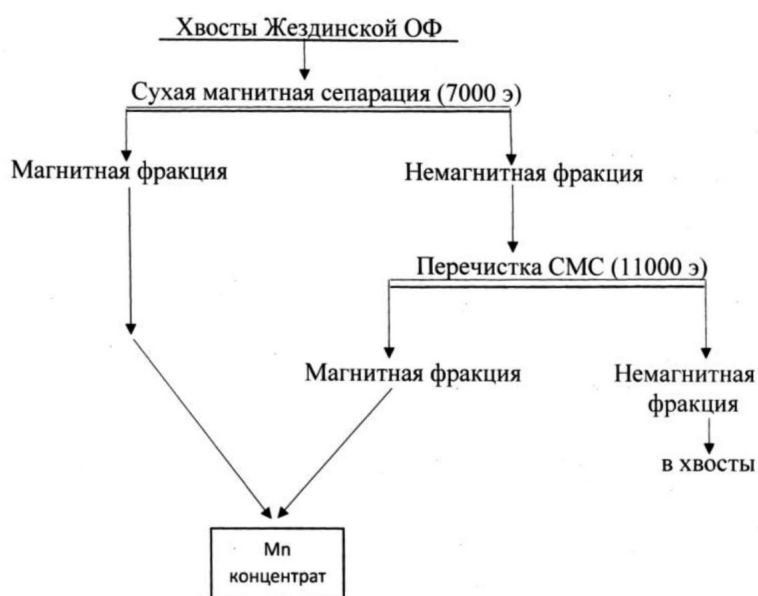
Результаты опытов по магнитной сепарации

Продукты	Выход, %	Содержание, %								Извлечение, %								Напряженность поля, эрстед		
		Mn	Fe	SiO ₂	P	S	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	Fe	SiO ₂	P	S	Al ₂ O ₃	CaO	MgO			
Концентрат	7,52	44,65	3,20	20,70	0,04	0,28	6,00	2,20	1,45	35,35	11,21	2,81	8,26	15,97	3,74	13,77	8,08	2000		
Хвосты	92,48	6,64	2,06	58,33	0,036	0,12	12,56	1,12	1,34	64,65	88,79	97,19	91,74	84,03	96,26	86,23	91,92			
Итого	100,0	9,50	2,15	55,50	0,036	0,13	12,07	1,20	1,35	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
Концентрат	10,73	40,40	3,35	21,97	0,04	0,30	6,76	2,44	1,51	44,73	16,69	4,25	11,81	24,69	6,01	21,83	12,01	2200		
Хвосты	89,27	6,00	2,01	59,53	0,036	0,11	12,71	1,05	1,33	55,27	83,31	95,75	88,19	75,31	93,99	78,17	87,99			
Итого	100,0	9,69	2,15	55,50	0,036	0,13	12,07	1,20	1,35	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
Концентрат	13,73	36,60	3,45	25,30	0,04	0,30	7,20	2,40	1,55	52,88	22,06	6,26	15,41	31,69	8,19	27,44	15,74	2500		
Хвосты	86,27	5,19	1,94	60,31	0,035	0,103	12,84	1,01	1,32	47,12	77,94	93,74	84,59	68,31	91,81	72,56	84,26			
Итого	100,0	9,50	2,15	55,50	0,036	0,13	12,07	1,20	1,35	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
Концентрат	20,41	31,18	3,61	30,06	0,04	0,26	8,80	2,37	1,86	66,99	34,21	11,06	22,72	40,75	14,88	40,31	28,11	3000		
Хвосты	79,59	3,94	1,78	62,02	0,035	0,097	12,91	0,90	1,22	33,01	65,79	88,94	77,28	59,25	85,12	59,69	71,89			
Итого	100,0	9,50	2,15	55,50	0,036	0,13	12,07	1,20	1,35	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
Концентрат	29,14	25,55	3,23	36,67	0,05	0,20	11,06	2,27	1,87	78,37	43,72	19,25	40,67	45,12	26,69	55,12	40,28	4000		
Хвосты	70,86	2,90	1,71	63,24	0,03	0,10	12,49	0,76	1,14	21,63	56,28	80,75	59,33	54,88	73,31	44,88	59,72			
Итого	100,0	9,50	2,15	55,50	0,036	0,13	12,07	1,20	1,35	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
Концентрат	39,98	21,42	3,30	38,02	0,05	0,20	11,86	2,30	1,86	90,14	61,43	27,39	55,25	61,63	39,28	76,52	55,09	5000		
Хвосты	60,02	1,56	1,38	67,14	0,027	0,083	12,21	0,47	1,01	9,86	38,57	72,61	44,75	38,37	60,72	23,488	44,91			
Итого	100,0	9,50	2,15	55,50	0,036	0,13	12,07	1,20	1,35	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			
Концентрат	42,82	20,25	3,29	39,06	0,05	0,18	12,01	2,17	1,88	91,27	65,46	30,14	58,95	59,95	42,60	77,56	59,71	7000		
Хвосты	57,17	1,45	1,30	67,81	0,026	0,09	12,12	0,47	0,95	8,73	35,54	69,86	41,05	40,05	57,40	22,44	40,29			
Итого	100,0	9,50	2,15	55,50	0,036	0,13	12,07	1,20	1,35	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			

Таблица 6

Гранулометрический анализ хвостов (2018 г.)

Фракция, мм	Выход, %	Fe, %		SiO ₂ , %		Al ₂ O ₃ , %		Mn, %	
		сод.	извл.	сод.	извл.	сод.	извл.	сод.	извл.
+2	2,0	3,34	2,20	48,12	1,69	10,92	2,60	13,18	2,42
–2 + 1	7,41	3,98	9,70	55,44	7,21	8,82	7,80	9,02	6,14
–1 + 0,5	23,60	2,52	19,56	61,70	25,57	8,17	23,00	8,31	18,00
–0,5 + 0,315	16,50	2,31	12,54	60,88	17,64	8,59	16,91	8,36	12,67
–0,315 + 0,16	24,85	2,50	20,44	60,30	26,31	8,43	25,00	7,41	16,91
–0,16 + 0,071	18,80	3,51	21,70	52,47	17,32	8,01	17,97	13,82	23,86
–0,071 + 0	6,84	6,16	13,86	35,47	4,26	8,23	6,72	31,84	20,00
Итого	100,0		100,0		100,0		100,0		100,0



Технологическая схема обогащения

Таблица 7

Результаты сухой магнитной сепарации

Фракция	Выход,		Fe, %		SiO ₂ , %		Al ₂ O ₃ , %		Mn, %	
	гр	%	сод.	извл.	сод.	извл.	сод.	извл.	сод.	извл.
Магнитная	585	52,23	3,20	54,91	42,25	38,75	7,83	48,80	18,60	89,21
Немагнитная	535	47,77	2,87	45,09	73,02	61,25	8,98	51,20	2,46	10,79
Итого		100,0		100,0		100,0		100,0		100,0

Результаты сухой магнитной сепарации показывают большой выход магнитной фракции при высоком извлечении марганца, но с малым содержанием марганца.

Эти результаты были ожидаемы, так как в ранее проведенных исследованиях установлена тенденция, что с увеличением на-

пряженности магнитного поля выход магнитного продукта и извлечение марганца в концентрат будет увеличиваться, а содержание марганца будет снижаться.

На основании результатов, проведенных исследований сухой магнитной сепарации лежалых хвостов Жездинской обогати-

тельной фабрики крупностью $-5,0 + 0,0$ мм можно сделать следующие выводы:

– при малых значениях интенсивности магнитного поля можно получить марганцевый концентрат требуемого качества, но с существенными потерями марганца в отходы сепарации;

– при больших значениях интенсивности магнитного поля можно обеспечить высокое извлечение марганца в концентрат, но с низким содержанием марганца в концентрате.

Анализ гранулометрического состава хвостов позволяет предположить, что причиной такого положения является недостаточное раскрытие сростков минералов.

На основании изучения и анализа вещественного состава и результатов технологических исследований сухой магнитной сепарации хвостов, сделан вывод, что для окончательного выбора рациональной технологии переработки хвостов Жездинской обогатительной фабрики следует провести дополнительные укрупненно-лабораторные исследования с включением в схему обогащения операцию сухого измельчения хвостов до классов крупности менее 1,0 мм.

Список литературы

1. Чантурия В.А., Козлов А.П., Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья. (Плаксинские чтения – 2017): материалы Международной научной конференции (Красноярск, 12–15 сентября 2017 г.). Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2017. 452 с.
2. Архипов А.В., Решетняк С.П. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография / Под науч. ред. акад. Н.Н. Мельникова. Апатиты: КНЦ РАН, 2017. 117 с.
3. Бектурганов Н.С. Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья Казахстана // Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2013): Материалы Международного совещания (Томск, 16–19 сентября 2013 г.). С. 24–27.
4. Ежов А.И. Оценка техногенного сырья в Российской Федерации (твдвые полезные ископаемые) // Горные науки и технологии. 2016. № 4. С. 62–72.
5. Едильбаев А.И. Обогащение некондиционного техногенного марганецсодержащего сырья. М.: Ин-т ГИНЦВЕТ-МЕТ, 2009. 229 с.
6. Толымбекова Л.Б. Разработка технологии выплавки ферросиликомарганца из окомкованного высококремнистого марганцевого сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.02. Екатеринбург, 2014. 115 с.
7. Отчет по пересчету запасов марганца в техногенных минеральных образованиях Жездинской обогатительной фабрики по состоянию на 01.10.2009 г. Комитет геологии и недропользования Центрально-Казахстанский межрегиональный департамент геологии и недропользования МТД «Центрказнедра», ТОО «Корпорация «Фосстис», ТОО «Центргеолсъемка», Заказчик: Президент ТОО «Корпорация «Фосстис» Мусин М.Т.; исполн. Исмаилов Х.К., Выпловцов В.Л., Мамаев А.И. Караганда, 2009. Книга I. 135 с. ГР № 6КР-02-902-54.
8. Разработка технологии переработки ТМО марганецсодержащих хвостов Жездинской ОФ: отчет О НИР (промежуточный) / НИЦ ГНТЭ: рук. Мустахимов А.Т.; исполн.: Мусин М.Т., Зейнуллин А.А., Жакилбеков Ж.Н., Дадонова Т.Н. Астана, 2018. 53 с. ГР № 0118РК00992.

ОБЗОРЫ

УДК 691.42:691.43

ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

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

Керамические материалы находят широкое применение в различных областях: машиностроении, приборостроении, авиакосмической отрасли. Но наиболее широкое применение керамика нашла в строительстве. Использование керамических материалов в современном строительстве является актуальным вследствие их экологичности, долговечности и большого положительного опыта их применения. Целью данной работы является анализ основных разновидностей керамических строительных материалов и специфики их применения. Наиболее распространенным керамическим материалом является полнотелый рядовой кирпич, который используется для возведения различных зданий и сооружений по всему миру. Помимо традиционного полнотелого кирпича быстро развивается производство новых эффективных стеновых материалов, отличающихся малым весом, высокими теплоизоляционными свойствами и значительными размерами, упрощающими перевозку и строительство. Керамическая плитка активно применяется для отделки ванн, кухонь, бассейнов, помещений общепита, а также наружной облицовки стен для защиты от воды и механических повреждений. Керамическая черепица, использование которой в последнее время снижается из-за большого веса и дороговизны, обладает очень высокой прочностью, огнестойкостью и длительным сроком службы. Большой популярностью пользуются изделия санитарно-технической керамики – умывальники, унитазы, ванны и т.п. Керамические теплоизоляционные материалы, применяемые для утепления стен и теплоизоляции различного оборудования, обладают не только низкой теплопроводностью, но и высокой теплостойкостью, а также биологической и химической инертностью. Для помещений с особыми требованиями применяются специальные керамические материалы: кислотоупорные, термостойкие и огнеупорные. В результате данной работы была собрана и проанализирована информация, подтверждающая, что строительная керамика является перспективным материалом с широчайшей сферой применения.

Ключевые слова: строительная керамика, стеновые изделия, облицовочные изделия, черепица, кислотоупорная керамика, термостойкая керамика, теплоизоляционная керамика

CHARACTERISTICS OF SPECIAL CONSTRUCTION CERAMIC PRODUCTS

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

Ceramic materials are widely used in various fields: engineering, instrumentation, and aerospace. But the most widely used ceramics found in construction. The use of ceramic materials in modern construction is relevant due to their environmental friendliness, durability and a large positive experience of their use. The purpose of this work is to analyze the main types of ceramic building materials and the specifics of their use. The most common ceramic material is full-bodied ordinary brick, which is used for the construction of various buildings and structures around the world. In addition to the traditional full-bodied brick, the production of new efficient wall materials with low weight, high thermal insulation properties and significant dimensions that simplify transportation and construction is rapidly developing. Ceramic tiles are actively used for finishing baths, kitchens, swimming pools, catering facilities, as well as external wall cladding to protect against water and mechanical damage. Ceramic tiles, the use of which has recently been reduced due to the high weight and high cost, have a very high strength, fire resistance and long service life. Sanitary ceramics products are very popular – washbasins, toilets, bathtubs, etc. Ceramic heat-insulating materials used for wall insulation and thermal insulation of various equipment have not only low thermal conductivity, but also high heat resistance, as well as biological and chemical inertness. For rooms with special requirements, special ceramic materials are used: acid-resistant, heat-resistant and fire-resistant. As a result of this work, information was collected and analyzed, confirming that construction ceramics is a promising material with a wide range of applications.

Keywords: building ceramics, wall products, cladding products, roof tiles, acid-resistant ceramics, heat-resistant ceramics, heat-insulating ceramics

Производство строительных материалов с каждым годом растёт. Увеличение темпов строительства и новые, всё возрастающие требования к строительным материалам и изделиям являются основной движущей силой модернизации промышленности строительных материалов. В число главных задач модернизации производств входит: получение высококачественной продукции при минимальных затратах; разработка новых строительных материалов

с заранее прогнозируемыми свойствами, отвечающих требованиям, предъявляемым к современным строительным изделиям; активное использование экологически чистых материалов и технологий производства [1].

Керамические материалы и изделия приобрели большую популярность в современном строительстве. Долговечность, экологичность, огнестойкость, разнообразие свойств и типов изделий позволяет использовать керамические материалы

в различных областях строительства: для возведения стен, облицовки наружных и внутренних помещений, теплоизоляции тепловых агрегатов, прокладки канализации керамическими трубами, заполнения полостей и создания лёгких бетонов на основе лёгких пористых заполнителей, а также для облицовки аппаратов химической промышленности и декоративно-художественной отделки. Помимо значительных преимуществ, применяемые в строительстве керамические материалы имеют и недостатки, такие как сравнительно высокая стоимость и сложность укладки.

Целью данной работы является анализ основных разновидностей керамических строительных материалов и специфики их применения.

Классификация керамических строительных материалов и изделий

Свойства готовых керамических изделий определяются многими факторами, среди которых состав шихты, метод переработки, и в особенности условия обжига – температура, время обжига, тип газовой среды. Сам материал (тело), из которого и состоят готовые керамические изделия, в технологии керамики называют керамическим черепком или просто черепком. Классификация строительных керамических материалов и изделий может осуществляться по структуре черепка или по их конструктивному назначению [2].

По структуре черепка различают изделия с пористым и со спекшимся черепком, а также изделия грубой и тонкой керамики. Пористыми в технологии керамики условно считают изделия, у которых водопоглощение черепка превышает 5%, обычно такой черепок пропускает воду. Спекшимся считают черепок с водопоглощением ниже 5%, как правило, он водонепроницаем.

Изделия из грубой керамики имеют макронеоднородный черепок, у которого на изломе хорошо видно зернистое строение. Кирпичи, черепица, канализационные трубы и большинство других строительных изделий из керамики относятся именно к грубой керамике.

У изделий тонкой керамики излом черепка имеет макрооднородное строение. Он может быть пористым, как, например, у фаянсовых облицовочных глазурованных плиток, и спекшимся (плитки для полов, кислотостойкий кирпич, фарфоровые изделия). Изделия со спекшимся черепком с водопоглощением ниже 1% называют каменными керамическими. Если при этом черепок обладает еще и просвечиваемостью, то его называют фарфором [3].

По конструктивному назначению различают следующие группы строительной керамики: стеновые изделия; фасадные изделия; изделия для внутренней облицовки стен; плитки для облицовки пола; изделия для кровли и перекрытий; изделия для подземных коммуникаций; теплоизоляционные изделия; кислотоупорные и термостойкие изделия; огнеупоры.

Стеновые керамические материалы и изделия

Стеновые керамические материалы весьма разнообразны – помимо традиционных керамических кирпичей (называемых также обыкновенными), существуют и эффективные керамические материалы – лёгкие, пористые и пустотелые кирпичи, плиты и блоки, а также готовые панели из кирпича и крупногабаритные блоки.

Керамические кирпичи и камни изготавливают из легкоплавких глин с добавками или без них и применяются для кладки наружных и внутренних стен и других элементов зданий и сооружений, а также для изготовления стеновых панелей и блоков, которые применяют для повышения индустриальности строительства [4, 5].

Керамические кирпичи используются для строительства домов и коммерческих зданий, а также для кладки из-за их прочности и визуальной привлекательности. Кирпичи могут быть изготовлены по экологически чистым технологиям, на их основе могут быть легко собраны конструкции различных форм и размеров, они не будут гореть, плавиться, деформироваться, гнить, ржаветь или повреждаться насекомыми. Кирпичные дома лучше защищены от погодных явлений, таких как грозы, ураганы и высокая влажность, чем дома, построенные из дерева и винила или фиброцементного сайдинга.

Панели и блоки из кирпича производят в горизонтальном положении с применением специальной металлической формы, обеспечивающей хорошую прочность готовой конструкции и приятный внешний вид. Применение эффективных стеновых керамических изделий позволяет обеспечить высокий уровень тепло- и звукоизоляции при снижении толщины стен, значительно сократить транспортные расходы за счёт низкого кажущегося веса готовых изделий и существенно уменьшить нагрузки на фундамент здания [5].

Облицовочные керамические изделия

Активное применение облицовочных изделий из керамики для отделки зданий обеспечивает не только привлекательный

внешний вид, но и эффективную защиту от загрязнений, различных агрессивных веществ и негативных факторов окружающей среды (снега, дождя, ультрафиолетового излучения и т.п.) [6].

В помещении керамическая плитка используется для покрытия полов, стен, кухонных столешниц и стен (например, в тоscanском стиле) и каминов. Плитка – это очень прочный и гигиеничный строительный материал, который придает эстетический внешний вид любой поверхности. В дизайне интерьера плитки также применяют, чтобы сформировать мозаику и настенные росписи как форму искусства и художественного оформления. На открытом воздухе керамическая плитка в основном используется для мощения террас, патио, лестниц, подъездов, проезжей части и у бассейна.

Облицовка стен производится двумя основными типами плиток – майоликовыми и фаянсовыми. Для производства майоликовой плитки используются красножгущие глины, а готовые плитки покрывают глазурью. При изготовлении фаянсовых плиток применяют смесь из полевого шпата, каолина и кварцевого песка. Пористый черепок обеспечивает хорошее сцепление готового изделия с клеящим составом, а также уменьшает вес плитки, глазурь способствует созданию эстетичного внешнего вида и гигиеничности [7].

Плитки с пористым черепком нельзя применять в наших климатических условиях для наружной отделки из-за низкой морозостойкости. Для настилки полов они также абсолютно непригодны, так как пористый черепок впитывает жидкости, что служит источником биокоррозии. Кроме того, пористый черепок имеет пониженную прочность и износостойкость.

Однако за счет введения добавок, позволяющих формировать мелкопористую структуру и получать самоглазурование поверхности возможно наружное применение плиток с пористым черепком и использование для их производства низкокачественных глин [8–10].

Керамические изделия для кровли и перекрытий

Керамическая черепица в качестве основного материала для кровли широко распространена в теплых регионах, особенно в европейских странах, как экономичный, долговечный кровельный материал для архитектурной элегантности и для обеспечения надлежащего водного барьера от сильных осадков и хорошей изоляции от солнца. Это объясняется хорошей устойчивостью

черепицы к атмосферным воздействиям, доступностью сырья и относительно простой технологией производства. Высокая долговечность, которая может достигать 300 лет, огнестойкость, и привлекательный внешний вид сделали керамическую черепицу одним из наиболее эффективных строительных материалов [11].

Наиболее существенным недостатком, сдерживающим применение черепицы из керамики, является большой вес готовой кровли, что приводит к необходимости увеличения прочности перекрытия крыши. Также большой вес черепицы усложняет кровельные работы, а конструкция изделия требует значительного (больше 30°) уклона крыши, что ограничивает возможные архитектурные решения [12].

Применение пустотелых камней и плит для обустройства перекрытий имеет значительные преимущества. Керамические камни имеют высокую тепло- и огнестойкость, хорошую звукоизоляцию, био- и коррозионную стойкость. При обустройстве конструкций из керамических плит обеспечивается малый расход цемента и стали, а также не требуется дополнительная засыпка пустот. Благодаря высокой пустотности, колеблющейся в пределах от 50% до 80%, керамические камни и плиты имеют малую массу и дешевы в производстве [13].

Изделия для подземных коммуникаций

Для прокладки подземных коммуникаций используются канализационные и дренажные трубы из керамики. Основной областью применения дренажных труб являются системы водоотведения для снижения уровня грунтовых вод, в сельском хозяйстве, при возведении различных сооружений и дорожных работах. Отличительной особенностью дренажных труб является пористый черепок с водопоглощением не более 18% [14].

Основным отличием керамических канализационных труб является плотный, водонепроницаемый черепок, обладающий высокой химической стойкостью (кислотостойкость >90%). Данные свойства обеспечиваются химически стойкой глазурью, которой покрываются как внутренняя, так и наружная поверхности трубы. Но при этом черепок труб отличается высокой хрупкостью. Основное сырье для производства данных труб – тугоплавкие или огнеупорные глины, к которым в качестве отощителя добавляют шамот, полученный из тугоплавких глин. Главным предназначением керамических канализационных труб является отвод жидких отходов в сельском хозяйстве и промышленности [15].

Теплоизоляционные изделия

Активное применение изделий из теплоизоляционной керамики позволяет значительно снизить затраты топлива и электроэнергии на нагрев и поддержание температуры в жилых и производственных помещениях. Использование теплоизоляционной керамики для футеровки печей, трубопроводов и другого высокотемпературного оборудования способствует не только экономической эффективности производств, но и созданию комфортных условий труда [16].

Высокая эффективность керамических теплоизоляционных изделий обусловлена не только низкой теплопроводностью и негорючестью, но также малой плотностью, негигроскопичностью и коррозионной стойкостью.

Для строительной теплоизоляции наиболее широко используются пенодиатомитовые, диатомитовые и трепельные, перлиты – и вермикулитокерамические изделия, аглопорит и керамзит. Применяются они в виде плит, блоков, кирпича, скорлуп и сегментов, а также в виде щебня и гравия. Так, пенодиатомитовые камни и блоки применяются в виде теплоизоляционных вкладышей при многоэтажном строительстве из кирпича с целью уменьшения толщины стен и обеспечения требуемых теплотехнических качеств. С применением трепела или выгорающих добавок могут быть получены энергоэффективные керамические материалы, которые за счет самоглазурования поверхности могут применяться в качестве лицевых изделий для наружной облицовки [17, 18]. Применение укрупненных камней, обеспечивает экономичность и высокую технологичность строительного процесса, позволяя в первую очередь сократить сроки строительства [19].

Кислотоупорная керамика

Кислотоупорные керамические изделия пользуются большой популярностью в современном строительстве. Кислотоупорная керамика устойчива не только к кислотам, но и к другим химическим реактивам, что способствует её активному применению не только в химической но, и в пищевой, медицинской и металлургической отраслях промышленности. Плотная структура изделий обеспечивает не только кислотостойкость, но и газонепроницаемость, высокую плотность, диэлектрическую прочность, и низкий коэффициент температурного расширения [20]. Кислотоупорность, прочность и морозостойкость керамики могут быть повышены путем жидкофазного спекания с остекловыванием поверхности частиц при использовании плавней и химически стойких стеклообразующих добавок [21].

Одним из наиболее широко применяемых и востребованных в строительстве кислотоупорных материалов является клинкерная плитка, применяемая, преимущественно, для отделки фасадов разнообразных зданий. Среди основных достоинств данного материала можно отметить низкие показатели водопоглощения за счет мелкопористой структуры. Также важными достоинствами считаются долговечность, морозостойкость, высокая прочность, устойчивость к кислотным дождям и прочим негативным факторам [22]. При всех положительных свойствах керамики высокой кислотостойкости, у нее есть такой недостаток как высокая цена.

Термостойкая и огнеупорная керамика

Термостойкая керамика выделяется уникальным комплексом свойств, сочетая в себе высокую химическую стойкость, прочность и твердость. Но основным отличительным признаком термостойкой керамики является способность многократно выдерживать циклы нагрева и охлаждения. Другие типы керамических материалов быстро разрушаются при резком нагреве или охлаждении. Но термостойкая керамика, благодаря специально подобранному составу шихты и режиму термообработки, позволяет значительно снизить внутренние напряжения, возникающие в изделии во время резкого охлаждения/нагрева. Термостойкие керамические изделия наиболее широко применяются для ответственных деталей в авиакосмической, машиностроительной, автомобильной, радиоэлектронной и энергетической отраслях промышленности. Термостойкую плитку применяют для футеровки каминов, дымоходов, печей для кремации, облицовки кухонных фартуков и помещений металлургической промышленности. Помимо плитки из термостойкой керамики изготавливают фасонные изделия – уголки, трубы для дымоходов, а также сковороды, кофеварки и другую кухонную утварь. Термостойкую керамику получают в основном путем спекания оксидов, карбидов, нитридов и других бескислородных соединений алюминия, лития, циркония и др. металлов, но существуют составы шихты позволяющие повысить термостойкость керамики на основе глины низкой пластичности за счет введения флюсующе-упрочняющих добавок и оксида церия [23].

К огнеупорным относят материалы, способные в течение длительного времени выдерживать без разрушения и значительной потери механических свойств воздействие высоких ($>1580^{\circ}\text{C}$) температур, а также расплавов, раскалённых газов, шлаков и т.п.

Классификация огнеупорных материалов

Вид огнеупора	Состав	Свойства	Примечание
Полукислые	Кремнезем (70–80%); оксид алюминия (15–25%)	Удовлетворительная стойкость при воздействии силикатных расплавов и шлаков	Наименьшая стоимость, используется в неответственных конструкциях вместо шамота
Динасовые	93–97% SiO ₂ ; 2–5% CaO	Высокая огнеупорность (1730 °C), невысокая прочность (10..30 МПа), малая термостойкость	Используется для возведения и облицовки стен мартеновских печей, печей для выплавки стекла
Кварцевые	>98% SiO ₂	Высокая термостойкость благодаря малому коэффициенту термического расширения	Применяется для футеровки тепловых агрегатов со значительным тепловыделением, создания штампов для горячего прессования и других деталей, имеющих множество циклов нагрев-охлаждение
Шамотные	50–70% SiO ₂ ; 28–46% Al ₂ O ₃	Высокая огнеупорность (1750 °C), термостойкость и шлакоустойчивость	Применяются для облицовки печей обжига, стен и пола доменных и стекловаренных печей, для кладки топок, дымоходов и т.д.
Доломитовые	25–35% MgO; 40–50% CaO; 10–20% SiO ₂	Хорошая химическая стойкость	Для футеровки печей
Карборундовые	60–90% SiC	Очень высокая твердость, высокая прочность, отличная термостойкость	Для футеровки электрических печей, изготовления литевых форм и оборудования по переработке цветных металлов
Магнезитовые	>90% MgO	Отличная химическая стойкость, высокая огнеупорность (до 2000 °C), низкая термостойкость	Футеровка печей; Защитное покрытие термопар
Циркониевые	ZrO; кремнезем	Высокая огнеупорность (2500 °C); шлакостойкость; низкая теплопроводность.	Используется для футеровки печей, соляных ванн, изготовления высокотемпературных тиглей и изоляторов, форм для отливки сталей и сплавов
Коксовые	30–92% углерода	Высокая огнеупорность (выше 2000 °C)	Кладка доменных печей

Изделия из огнеупорных материалов применяют при кладке промышленных печей, топок, дымоходов и других тепловых агрегатов, работающих при высоких температурах. Поэтому помимо высокой огнеупорности, механической прочности и термостойкости они должны обладать низким коэффициентом температурного расширения, устойчивостью к высокотемпературным расплавам и шлакам, газонепроницаемостью и стойкостью к истиранию [24]. Классификация огнеупорных материалов представлена в таблице [25].

Закключение

В последние десятилетия резко возрос интерес к строительным керамическим материалам. Номенклатура керамических изделий, используемых в строительстве, превышает 2000 различных видов. Такой ассортимент обеспечивает комплексное возведение зданий, благоустройство внутри

помещений и прилегающей к дому территории. Значительные перспективы использования керамики в строительстве обусловлены многообразием свойств, сильно зависящих от состава шихты и метода изготовления. Возможность регулировать свойства готовых изделий в широких пределах, экологичность, термо- и морозостойкость, низкая тепло и электропроводность – всё это преимущества керамических изделий. Недостатки керамики, к которым можно отнести хрупкость, а также дороговизну успешно решаются подбором состава шихты и разработкой новых композиционных материалов, сочетающих преимущества керамики и полимеров [26]. Перечисленные преимущества и недостатки надо учитывать при выборе области и условий эксплуатации, что позволит эффективно использовать керамические изделия для защиты поверхностей и сооружений от различного рода воздействий и придания им эстетического внешнего вида.

Список литературы

1. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия: учебник для инженерно-экономических специальностей строительных вузов, 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1988. 527 с.
2. Захаров А.И. Основы технологии керамики: учебное пособие. РХТУ им. Д.И. Менделеева. М., 2005. С. 79.
3. Августиник А.И. Керамика. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Стройиздат (Ленингр. отд-ние), 1975. 592 с.
4. Сухарникова М.А., Пикалов Е.С. Исследование возможности производства керамического кирпича на основе малопластичной глины с добавлением гальванического шлама // Успехи современного естествознания. 2015. № 10. С. 44–47.
5. Керамические материалы в строительстве [Электронный ресурс]. URL: <http://perekos.net/sections/view/55> (дата обращения: 13.02.2020).
6. Величко Е.Г. Строение и основные свойства строительных материалов: учебное пособие. М.: ЛКИ, 2014. 496 с.
7. Шишакина О.А., Паламарчук А.А., Кочуров Д.В., Аракелян А.Г. Характеристика материалов для внутренней и наружной облицовки зданий и сооружений // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19539> (дата обращения: 04.03.2020).
8. Шахова В.Н., Березовская А.В., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Сысоев Э.П. Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 13–18.
9. Шахова В.Н., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Получение облицовочной керамики с использованием несортированного боя тарных стекол // Экология и промышленность России. 2019. № 2. С. 36–41.
10. Воробьева А.А., Шахова В.Н., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Сысоев Э.П., Чухланов В.Ю. Получение облицовочной керамики с эффектом остекловывания на основе малопластичной глины и техногенного отхода Владимирской области // Стекло и керамика. 2018. № 2. С. 13–17.
11. Киреева Ю.И. Строительные материалы: учебное пособие. Минск: Новое знание, 2005. 399 с.
12. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы: учебник для вузов. М.: Студент, 2012. 440 с.
13. Домокеев А.Г. Строительные материалы: учебник для строительных вузов, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1989. 495 с.
14. Рыбьев И.А. Материаловедение в строительстве. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 528 с.
15. Алимов Л.А., Воронин В.В. Строительные материалы: учебник для бакалавров. М.: Академия, 2012. 320 с.
16. Миккульский В.Г. Строительные материалы и изделия. М.: АСВ, 2009. 520 с.
17. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка энергоэффективной облицовочной керамики на основе местного сырья и стекольного боя // Экология промышленности России. 2019. № 3. С. 22–26.
18. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Применение полимерных и стекольных отходов для получения самоглазующейся облицовочной керамики // Экология и промышленность России. 2019. № 11. С. 38–42.
19. Основин В.Н., Шуляков Л.В., Дубяго Д.С. Справочник по строительным материалам и изделиям. М.: Феникс, 2006. 448 с.
20. Шишакина О.А., Паламарчук А.А., Кочуров Д.В. Применение кислотоупорной керамики в современной промышленности // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19251> (дата обращения: 11.02.2020).
21. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Использование отходов, содержащих тяжелые металлы, для получения кислотоупорной керамики с эффектом самоглазурования // Экология промышленности России. 2018. № 2. С. 2–6.
22. Салахоф А.М. Современные керамические материалы; Министерство образования и науки РФ, Казанский федеральный университет. Казань: КФУ, 2016. 407 с.
23. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка состава шихты для получения термостойкой керамики // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 126–130.
24. Дятлова Е.М., Климош Ю.А. Химическая технология керамики и огнеупоров. В 2 ч. Ч. 1: тексты лекций для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 09 «Технология тонкой функциональной и строительной керамики». Минск: БГТУ, 2014. 224 с.
25. Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Тригуб Т.С. Все материалы. Энциклопедический справочник. М.: Химия, 2012. 203 с.
26. Белов В.В., Петропавловская В.Б., Храмцов Н.В. Строительные материалы: учебник для бакалавров. М.: АСВ, 2014. 272 с.

СТАТЬИ

УДК 517.977.58

**АСИМПТОТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ СИНГУЛЯРНО-ВОЗМУЩЕННОЙ
ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
С МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ****Иманалиев З.К., Аширбаев Б.Ы.***Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова,
Бишкек, e-mail: ashirbaev-58@mail.ru*

В данной работе на основе методов разделения движений и проблемы моментов предложен алгоритм построения равномерных нулевых асимптотических приближений к оптимальному управлению, приводящему к нахождению приближенного оптимального решения линейной сингулярно-возмущенной задачи оптимального управления с минимальной энергией. Эквивалентная система, полученная при полном разделении переменных состояний линейной стационарной сингулярно-возмущенной управляемой системы, обладает всеми свойствами исходной системы. Она состоит из двух подсистем низкого порядка, решения которых находятся независимо, причем они связаны только управляющей функцией. Полученная оптимальная траектория задачи удовлетворяет всем граничным условиям и состоит из трех составляющих, первое из которых формирует магистраль, остальные осуществляют переходы от начального состояния на магистраль и с магистрали на конечное состояние. Термин «магистраль» употребляемый в математической экономике может служить синонимом нулевого члена регулярного ряда для быстрой переменной составляющей. Поправка к первому приближению не представляет трудности, то есть все изложенные процедуры для рассматриваемой системы аналогично повторяются для высших приближений. Предлагаемый подход сочетает в себе приемы асимптотических и приближенных методов анализа. Совместное использование методов разделения движений и проблемы моментов позволяет обходить трудности, связанные при применении Принципа максимума с недостаточными краевыми условиями. В работе рассмотрен численный пример подтверждающий теоретические выводы.

Ключевые слова: сингулярно-возмущенные системы, быстрые и медленные переменные, асимптотические приближения, оптимальная траектория, оптимальное управление с минимальной энергией, магистраль

**ASYMPTOTIC SOLUTION OF A SINGULAR-PERTURBED PROBLEM
OF OPTIMAL MANAGEMENT WITH MINIMUM ENERGY****Imanaliev Z.K., Ashirbaev B.Y.***Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova, Bishkek, e-mail: ashirbaev-58@mail.ru*

In this paper, based on the methods of separation of motions and the problem of moments, we propose an algorithm for constructing uniform zero asymptotic approximations to optimal control, which leads to finding an approximate optimal solution to a linear singularly perturbed optimal control problem with minimum energy. An equivalent system obtained by completely separating the variable states of a linear stationary singularly perturbed controlled system has all the properties of the original system. It consists of two subsystems of low order, the solutions of which are found independently, and they are connected only by the control function. The obtained optimal trajectory of the problem satisfies all boundary conditions and consists of three components, the first of which forms the trunk, the rest make transitions from the initial state to the highway and from the highway to the final state. The term «highway» used in mathematical economics can serve as a synonym for the zero term of a regular series for a fast variable component. The correction to the first approximation is not difficult, that is, all the above procedures for the system under consideration are similarly repeated for higher approximations. The proposed approach combines the techniques of asymptotic and approximate methods of analysis. The joint use of methods of separation of movements and the problem of moments allows you to bypass the difficulties associated with the application of the Maximum Principle with insufficient boundary conditions. The paper considers a numerical example confirming the theoretical conclusions.

Keywords: singularly perturbed systems, fast and slow variables, asymptotic approximations, optimal trajectory, optimal control with minimal energy, highway

Теория и применение сингулярно-возмущенных систем дифференциальных уравнений в настоящее время активно развивается и применяется для решения широкого круга задач в различных отраслях науки. Такие системы появляются естественным образом в процессе моделирования и исследования объектов различной природы, способных одновременно совершать быстрые и медленные движения.

В сингулярно-возмущенных задачах эти системы являются жесткими и, как следствие, при вычислениях возникают серьезные трудности, выражающиеся в недопустимо большом времени счета и неизбежном накоплении вычислительных ошибок. Поэтому возрастает роль асимптотических методов, тем более, что при их применении происходит декомпозиция исходной задачи оптимального управления на задачи меньшей размерности.

Задачи оптимизации таких систем в различных постановках исследовались многими авторами [1]. Следует отметить, что нахождение допустимого управления с использованием метода разделения движений относится к перспективным методам оптимального управления [2–4]. Задача разделения движений сингулярно-возмущенной управляемой системы были предметом исследования и в наших работах [5, 6].

Данная работа посвящена построению асимптотических приближений к решению задачи оптимизации переходного процесса в линейной сингулярно-возмущенной системе. Эта задача состоит в нахождении допустимого управления с минимальными энергетическими затратами [7, 8] и построении оптимальной траектории обладающей магистральными свойствами [9]. Такие исследования начаты относительно давно, но сохраняют свою актуальность по настоящее время, о чем свидетельствуют новейшие работы, на эту тему в различной постановке [10–12].

Постановка задачи

Пусть управляемый процесс описывается сингулярно-возмущенной системой вида

$$\dot{y}(t) = Ay(t) + Bu(t), \quad (1)$$

где

$$y = \begin{pmatrix} x & z \end{pmatrix}', A = A(\mu) = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ \frac{1}{\mu} A_3 & \frac{1}{\mu} A_4 \end{pmatrix},$$

$$B = B(\mu) = \begin{pmatrix} B_1 \\ \frac{1}{\mu} B_2 \end{pmatrix},$$

$$A_1 - (n \times n), A_2 - (n \times m),$$

$A_3 - (m \times n), A_4 - (m \times m), B_1 - (n \times r), B_2 - (m \times r)$ – постоянные матрицы, $x \in R^n, z \in R^m, u \in R^r, t \in [t_0, t_1], 0 < \mu \ll 1$ – малый параметр, штрих обозначает транспонирование.

Рассмотрим задачу перевода объекта (1) из некоторого состояния

$$y(t_0) = y_0, \quad (2)$$

в состояние

$$y(t_1) = y_1, \quad (3)$$

при этом функционал

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_1} u'(t, \mu) u(t, \mu) dt \quad (4)$$

принимал наименьшее возможное значение.

Предполагается, что система (1) вполне управляема. Функционал (4) можно рассматривать как квадрат нормы функции $u(t)$ в пространстве $L_2[t_0, t_1]$. Так как норма $\|u\|$ достигает минимума со своим квадратом в $L_2[t_0, t_1]$, то необходимо выбрать среди допустимых решений задачи программного управления (задача о переводе системы (1) из заданной начальной точки (2) в конечную точку (3)) такое решение, которое имеет минимальную норму в $L_2[t_0, t_1]$ [13].

Такое решение (с минимальной нормой) существует, если компоненты импульсной переходной вектор-функции линейно независимы и это условие выполняется, если заданная система вполне управляема [13]. По предположению система (1) вполне управляема.

Предположим также, что корни характеристического уравнения матрицы A_4 удовлетворяют неравенству

$$\operatorname{Re} \gamma_i < 0 \quad (i = \overline{1, m}). \quad (5)$$

В управляемых системах функционал (4) используется как критерий минимума затрат энергии на управление [13]. Поэтому данную задачу с минимальной нормой, иначе назовем задачей с минимальной энергией.

При выполнении условий (5), как показано в [2] систему (1) можно заменить эквивалентной системой, у которой разделены медленные $x(t)$ и быстрые $z(t)$ составляющие вектора состояния:

$$\dot{\tilde{x}}(t, \mu) = \tilde{A}_1 \tilde{x}(t, \mu) + \tilde{B}_1 u(t, \mu), \quad (6)$$

$$\mu \dot{\tilde{z}}(t, \mu) = \tilde{A}_4 \tilde{z}(t, \mu) + \tilde{B}_2 u(t, \mu)$$

где

$$\tilde{x} = x + \mu N \tilde{z}, \quad \tilde{z} = z - Hx, \quad (7)$$

$$\tilde{A}_1 = \tilde{A}_1(\mu) = A_1 + A_2 H, \quad \tilde{A}_4 = \tilde{A}_4(\mu) = A_4 - H A_2,$$

$$\tilde{B}_1 = \tilde{B}_1(\mu) = B_1 + N \tilde{B}_2, \quad \tilde{B}_2 = \tilde{B}_2(\mu) = B_2 - H B_1.$$

Матрицы $H = H(\mu)$ и $N = N(\mu)$ определяются из уравнения:

$$\mu H (A_1 + A_2 H) = A_3 + A_4 H, \quad (8)$$

$$\mu (A_1 N + A_2 H N + N H A_2) = A_2 + N A_4,$$

Граничные условия системы (6) определяются соотношениями:

$$\tilde{x}(t_0) = \tilde{x}_0, \tilde{x}(t_1) = \tilde{x}_1, \tilde{z}(t_0) = \tilde{z}_0, \tilde{z}(t_1) = \tilde{z}_1, \quad (9)$$

где

$$\tilde{x}_0 = x_0 + N \tilde{z}_0, \tilde{x}_1 = x_1 + N \tilde{z}_1,$$

$$\tilde{z}_0 = z_0 - H x_0, \tilde{z}_1 = z_1 - H x_1.$$

Теперь сформулируем задачу об управлении с минимальной энергией для системы (6) следующим образом: требуется найти управление $u^* = u^*(t, \mu)$ среди всех допустимых управлений доставляющие минимум функционалу (4) при ограничениях (6), (7).

При $\mu = 0$ из (1) получаем

$$\dot{\bar{x}}(t) = A_0 \bar{x}(t) + B_0 \bar{u}(t), \quad \bar{x}(t_0) = \bar{x}_0, \bar{x}(t_1) = \bar{x}_1, \quad (10)$$

$$\bar{z}(t) = -A_4^{-1} A_3 \bar{x}(t) - A_4^{-1} B_2 \bar{u}(t),$$

где $A_0 = A_1 - A_2 A_4^{-1} A_3$, $B_0 = B_1 - A_2 A_4^{-1} B_2$.

Задача (4), (10) является предельной к задаче (1)–(4). Поведение системы (1) или (6) в окрестности граничных точек существенно отличается от поведения системы (10). Поэтому рассмотрим систему

$$\dot{\tilde{x}}(t) = A_0 \tilde{x}(t) + B_0 \tilde{u}(t), \quad (11)$$

$$\mu \dot{\tilde{z}}(t, \mu) = A_4 \tilde{z}(t, \mu) + B_2 u(t, \mu).$$

Система (11) аппроксимирует систему (1) с точностью порядка μ , т.е. она является асимптотической с точностью $O(\mu)$ и получается из (6) при следующих приближениях:

$$H(\mu) \approx H_0 = A_4^{-1} A_3, \quad N(\mu) \approx N_0 = A_2 A_4^{-1}, \quad \tilde{A}_1 = A_0 = A_1 - A_2 A_4^{-1} A_3, \quad (12)$$

$$\tilde{A}_4 \approx A_4, \quad \tilde{B}_1 \approx B_0 = B_1 - A_2 A_4^{-1} B_2, \quad \tilde{B}_2 \approx B_2, \quad \tilde{z} = \bar{z} + A_4^{-1} A_3 \bar{x}.$$

Граничные условия системы (11) определяются соотношениями:

$$x(t_0) = x_0, \quad x(t_1) = x_1, \quad \tilde{z}(t_0) = \tilde{z}_0, \quad \tilde{z}(t_1) = \tilde{z}_1. \quad (13)$$

Заметим, что системы (10) и (11) отличаются только вторыми уравнениями. Поэтому решение задачи (4), (6), (7) построим для системы (11). Поправка к первому приближению не представляет трудности, т.е. все изложенные процедуры для системы (11) аналогично повторяются для высших приближений. Следует заметить, что быстрая подсистема системы (11) рассматривается на большом промежутке времени, поэтому коэффициенты этой подсистемы считаются медленно меняющимися функциями [14].

Решение задачи

Решения системы (11) можно представить в виде

$$\bar{x}(t) = \exp(A_0(t-t_0))\bar{x}_0 + \int_{t_0}^t \exp(A_0(t-s))B_0 u(s)ds, \quad (14)$$

$$\tilde{z}(t, \mu) = \exp(A_4(t-t_0)/\mu)\tilde{z}_0 + \left(\frac{1}{\mu}\right) \int_{t_0}^t \exp(A_4(t-s)/\mu)B_2 u(s)ds, \quad (15)$$

где $\exp(A_0(t-t_0))$ – переходная матрица медленной подсистемы (11).

В силу соотношения (14) ограничение $\bar{x}(t_1) = \bar{x}_1$ приводит к тому, что искомое управление $\bar{u}(t) = \bar{u}^*(t)$ должно удовлетворять условию

$$\int_{t_0}^{t_1} \exp(A_0(t_1-s))B_0 u(s)ds = \alpha_1, \quad (16)$$

где $\alpha_1 = \bar{x}_1 - \exp(A_0(t_1-t_0))\bar{x}_0$.

Управление $\bar{u}(t) = \bar{u}^*(t)$ удовлетворяющее моментному соотношению (16) и доставляющее минимум функционалу (4), определяется формулой [13]

$$\bar{u}^*(t) = B_0' \exp(A_0'(t_1-t))W^{-1}(\bar{x}_1 - \exp(A_0(t_1-t_0))\bar{x}_0), \quad (17)$$

где $W = \int_{t_0}^{t_1} \exp(A_0(t_1-t))B_0 B_0' \exp(A_0'(t_1-t))dt$.

Тогда оптимальные траектории $\bar{x}(t)$, $\tilde{z}(t, \mu)$ системы (11), соответствующее оптимальному управлению (17) записываются в виде:

$$\bar{x}^*(t) = \exp(A_0(t-t_0))\bar{x}_0 + \int_{t_0}^t \exp(A_0(t-s))B_0\bar{u}^*(s)ds, \quad (18)$$

$$\tilde{z}^*(t) = -A_4^{-1}B_2\bar{u}^*(t), \quad (19)$$

где $\tilde{z}^*(t) = \bar{z}^*(t) + A_4^{-1}A_3\bar{x}^*(t)$, $\bar{u}^*(t)$ определяется из (17).

При $t = t_0$ и $t = t_1$ из (19) получаем:

$$\tilde{z}^*(t_0) = -A_4^{-1}B_2\bar{u}^*(t_0), \quad \tilde{z}^*(t_1) = -A_4^{-1}B_2\bar{u}^*(t_1). \quad (20)$$

В силу соотношений (15), (19), (20) разность векторов $\tilde{z}(t, \mu) - \tilde{z}^*(t)$ определяет оптимальную траекторию задачи (4), (11), (13) в форме

$$\begin{aligned} \tilde{z}_0(t, \mu) = & \exp(A_4(t-t_0)/\mu) \left(\tilde{z}_0 + A_4^{-1}B_2\bar{u}^*(t_0) \right) - \\ & - A_4^{-1}B_2\bar{u}^*(t) + \left(\frac{1}{\mu} \right) \int_{t_0}^t \exp\left(\frac{A_4(t-s)}{\mu} \right) B_2 u_0^*(s) ds. \end{aligned} \quad (21)$$

Для задачи (4), (11), (13) определим управление в виде

$$u_0^*(t, \mu) = \begin{cases} \bar{u}^*(t), & t_0 \leq t \leq t_1, \\ V\left(\frac{t-t_0}{\mu}\right), & 0 \leq \frac{t-t_0}{\mu} \leq \frac{t_1-t_0}{\mu} < +\infty, \end{cases} \quad (22)$$

где $V\left(\frac{t-t_0}{\mu}\right)$ – пограничная функция, которая имеет экспоненциальный характер убывания.

Управление $u_0^*(t, \mu) = \bar{u}^*(t)$, имеющее минимальную норму и переводящее медленную подсистему (11) из начального состояния $x(t_0) = x_0$ в конечное состояние $x(t_1) = x_1$ известно.

Теперь остается построить управление $V\left(\frac{t-t_0}{\mu}\right)$.

При $t = t_1$ с учетом (4), (22) из (21) получим

$$\int_0^{+\infty} \exp(A_4\lambda) B_2 V(\lambda) d\lambda = \alpha_2, \quad (23)$$

$$\int_0^{+\infty} V^2(\lambda) d\lambda \rightarrow \min, \quad (24)$$

где

$$\alpha_2 = \tilde{z}_1 - \exp(A_4\lambda_1) \left(\tilde{z}_0 + A_4^{-1}B_2\bar{u}^*(t_0) \right) + A_4^{-1}B_2\bar{u}^*(t_1), \quad \lambda_1 = \frac{t_1-t_0}{\mu}. \quad (25)$$

Решение задачи (23), (24) согласно проблемы моментов записывается в виде [13]

$$V(\lambda) = B_2' \exp(A_4'\lambda) \Theta^{-1} \alpha_2, \quad (26)$$

где

$$\Theta = \int_0^{+\infty} \exp(A_4\lambda) B_2 B_2' \exp(A_4'\lambda) d\lambda, \quad \lambda = \frac{t-t_0}{\mu}. \quad (27)$$

Управление $u_0^*(t, \mu) = V(\lambda)$ переводит быструю подсистему систем (11) из начального состояния $\tilde{z}(t_0) = \tilde{z}_0$ в конечное состояние $\tilde{z}(t_1) = \tilde{z}_1$, имеет минимальную норму и при $\lambda \rightarrow +\infty$ ($\mu \rightarrow 0$) стремится к нулю.

С учетом (26) из (21) будем иметь

$$\begin{aligned} \tilde{z}_0(t, \mu) = & \exp(A_4(t-t_0)/\mu) \left(\tilde{z}_0 + A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t_0) \right) - A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t) + \\ & + F(\sigma, \sigma_0) \Theta^{-1} \left(\tilde{z}_1 - \exp(A_4 \lambda_1) \left(\tilde{z}_0 + A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t_0) \right) + A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t_1) \right), \end{aligned} \quad (28)$$

$$\text{где } F(\sigma, \sigma_0) = \int_{\sigma_0}^{\sigma} \exp(-A_4(\tau - \sigma)) B_2 B_2' \exp(-A_4'(\tau - \sigma)) d\tau, \sigma = \frac{t-t_1}{\mu}, \sigma_0 = \frac{t_0-t_1}{\mu}.$$

Матрица $F(t, t_0)$ в (28) удовлетворяет матричному дифференциальному уравнению [15]

$$\frac{d F(\sigma, \sigma_0)}{d\sigma} = A_4 F(\sigma, \sigma_0) + F'(\sigma, \sigma_0) A_4' + B_2 B_2', \quad F(t_0, t_0) = 0, \quad (29)$$

По условию (5) A_4 – устойчивая матрица, поэтому несобственный интеграл в (27) сходится и является единственным решением алгебраического матричного уравнения [15]

$$A_4 F(\sigma, \sigma_0) + F'(\sigma, \sigma_0) A_4' + B_2 B_2' = 0. \quad (30)$$

Введем в (29) замену переменной

$$Q(\sigma, \sigma_0) = F(\sigma, \sigma_0) - \Theta. \quad (31)$$

Тогда с учетом (30) из (29) имеем

$$\frac{d Q(\sigma, \sigma_0)}{d\sigma} = A_4 Q(\sigma, \sigma_0) + Q'(\sigma, \sigma_0) A_4', \quad Q(\sigma_0, \sigma_0) = -\Theta, \quad (32)$$

Решение матричного уравнения (32) имеет вид [15]

$$Q(\sigma, \sigma_0) = -\exp(A_4(\sigma - \sigma_0)) \Theta \exp(A_4'(\sigma - \sigma_0)) = -\exp(A_4 \lambda) \Theta \exp(A_4' \lambda). \quad (33)$$

Тогда с учетом замены (31)

$$F(t, t_0) = \Theta - \exp(A_4 \lambda) \Theta \exp(A_4' \lambda). \quad (34)$$

Подставляя (34) в (28) получаем

$$\begin{aligned} \tilde{z}_0(t, \mu) = & \exp(A_4(t-t_0)/\mu) \left(\tilde{z}_0 + A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t_0) \right) - A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t) + \\ & + \left(\Theta - \exp(A_4 \lambda) \Theta \exp(A_4' \lambda) \right) \Theta^{-1} \left(\tilde{z}_1 - \exp(A_4 \lambda_1) \left(\tilde{z}_0 + A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t_0) \right) + A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t_1) \right). \end{aligned} \quad (35)$$

Оптимальная траектория $\tilde{z}_0(t, \mu)$ удовлетворяет всем граничным условиям (13) и для нее имеет место следующее предельное соотношение

$$\lim_{\mu \rightarrow 0} \tilde{z}_0(t, \mu) = \tilde{z}_0 + A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t_0) - A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t).$$

Траектория функции

$$\tilde{z}_0^2(t) = A_4^{-1} B_2 \bar{u}^*(t) \quad (36)$$

формирует «магистраль». Оптимальная траектория процесса, выходя из начальной точки направляется к магистрали, и в течении достаточно долгого времени находится вблизи этой линии (при достаточно малых μ), и уходит с неё для достижения заданного конечного состояния.

Введем следующие значения параметров системы (1):

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0 & 47 \\ 0,0001 & 0,0138 \end{pmatrix}, A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0,0914 & 0,2161 \end{pmatrix}, A_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -0,0005 & -0,3583 \end{pmatrix},$$

$$A_4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -0,1084 & -1,4862 \end{pmatrix}, B_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -0,52 \end{pmatrix}, B_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0,313 \end{pmatrix}, \mu = 0,01, t_0 = 0, t_1 = 1.$$

Корни характеристического уравнения матрицы A_4 удовлетворяют неравенству (5):

$$\gamma_1 = -0,0769, \gamma_2 = -1,4093.$$

Согласно (12) находим: $H_0 = \begin{pmatrix} 0,0046 & 3,3054 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$,

$$N_0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -1,0370 & -0,2883 \end{pmatrix}, A_0 = \begin{pmatrix} 0 & 47 \\ -0,0003 & -0,2883 \end{pmatrix}, B_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 12530,77 \end{pmatrix}.$$

Находим переходную матрицу $\exp(A_0(t_1 - t))$, используя преобразования Лапласа [15]:

$$\exp(A_0(t_1 - t)) = \begin{pmatrix} 0,5 \exp(-0,45175(t_1 - t)) + 0,5 \exp(-0,12485(t_1 - t)) & \\ 0,000918 \exp(-0,45175(t_1 - t)) + 0,000918 \exp(-0,12485(t_1 - t)) & \end{pmatrix} \quad (37)$$

$$\begin{pmatrix} -143,7749 \exp(-0,45175(t_1 - t)) + 143,7749 \exp(-0,12485(t_1 - t)) & \\ 1,38193 \exp(-0,45175(t_1 - t)) - 1,38193 \exp(-0,12485(t_1 - t)) & \end{pmatrix}.$$

Далее вычисляем элементы матриц W из (17) при $t_0 = 0, t_1 = 1$:

$$W = \int_0^1 \exp(A_0(1-t)) B_0 B_0' \exp(A_0'(1-t)) dt = \begin{pmatrix} 1,51031E+13 & -723703490,9 \\ -723703490,9 & 1395315039 \end{pmatrix}.$$

При фиксированных начальных и конечных условиях:

$$(\bar{x}_0^{(1)} \bar{x}_0^{(2)})' = (11)', \quad (z_0^{(1)} z_0^{(2)})' = (11)', \quad (38)$$

$$(\bar{x}_1^{(1)} \bar{x}_1^{(2)})' = (00)', \quad (z_1^{(1)} z_1^{(2)})' = (00)', \quad (39)$$

согласно (17) получаем оптимальное управление $\bar{u}(t) = \bar{u}^*(t)$ имеющее минимальную норму и переводящее медленную подсистему (11) из начального состояния (38) в конечное состояние (39):

$$\bar{u}^*(t) = (3,29337E-05) \exp(-0,45175(1-t)) - (3,29337E-05) \exp(-0,12485(1-t)). \quad (40)$$

Теперь построим управление $u_0^*(t, \mu) = V(\lambda)$, которые переводит быструю подсистему систем (11) из начального состояния

$$\tilde{z}(0) = \tilde{z}_0 = z_0 - H_0 x_0 = \begin{pmatrix} -2,31 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (41)$$

в конечное состояние

$$\tilde{z}(1) = \tilde{z}_1 = z_1 - H_0 x_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (42)$$

имеет минимальную норму и при $\lambda \rightarrow +\infty$ ($\mu \rightarrow 0$) стремится к нулю.

Переходная матрица $\exp(A_4(t-t_0)/\mu)$ и α_2 из (25) при $\mu = 0,01$, $t_0 = 0$, $t_1 = 1$ имеют вид:

$$\exp(A_4 t / \mu) = \begin{pmatrix} \exp(-0,07692t / \mu) \\ 0,081359 \exp(-1,40928t / \mu) - 0,081359 \exp(-0,07692t / \mu) \\ -0,7505464 \exp\left(-\frac{1,40928t}{\mu}\right) + 0,7505464 \exp(-0,07692t / \mu) \\ 1,05773 \exp(-1,40928t / \mu) - 0,05773 \exp(-0,07692t / \mu) \end{pmatrix}, \alpha_2 = \begin{pmatrix} 0,000204561 \\ -1,81646E-05 \end{pmatrix}. \quad (43)$$

Далее вычисляем Θ из (26) и Θ^{-1} :

$$\Theta = \begin{pmatrix} 0,095419732 & -0,004740922 \\ -0,004740922 & 0,000694258 \end{pmatrix}, \Theta^{-1} = \begin{pmatrix} 15,86165516 & 108,31541 \\ 108,31541 & 2180,045704 \end{pmatrix}.$$

Управление $u_0^*(t, \mu) = V(\lambda)$, которые переводит быструю подсистему систем (11) из начального состояния (41) в конечное состояние (42) согласно (26) записываем в виде

$$V(t) = -0,007493824 \exp\left(-\frac{1,40928t}{\mu}\right) + 0,003311447 \exp\left(-\frac{0,07692t}{\mu}\right). \quad (44)$$

Магистраль $\tilde{z}_0^2(t)$ и пограничные функции $\tilde{z}_0^1(t, \mu)$ и $\tilde{z}_0^3(t, \mu)$ имеют вид:

$$\tilde{z}_0^2(t) = \begin{pmatrix} -4,515415 \exp(-0,45175(1-t)) + 4,515415 \exp(-0,12485(1-t)) \\ (3,29337E-05) \exp(-0,45175(1-t)) - (3,29337E-05) \exp(-0,12485(1-t)) \end{pmatrix}, \quad (45)$$

$$\tilde{z}_0^1(t) = \begin{pmatrix} -0,7505464 \exp\left(-\frac{1,40928t}{\mu}\right) - 1,559454 \exp\left(-\frac{0,07692t}{\mu}\right) \\ 0,869793 \exp\left(-\frac{1,40928t}{\mu}\right) + 0,13020698 \exp\left(-\frac{0,07692t}{\mu}\right) \end{pmatrix}, \quad (46)$$

$$\tilde{z}_0^3(t) = \begin{pmatrix} -0,75054 \exp\left(-\frac{1,40928t}{\mu}\right) - 0,44814 \exp\left(-\frac{0,07692t}{\mu}\right) + \\ 0,960199 \exp\left(-\frac{1,40928t}{\mu}\right) + 0,039793 \exp\left(-\frac{0,07692t}{\mu}\right) - \end{pmatrix} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} & + 4,515415 \exp(-0,45175(1-t)) - 4,515415 \exp(-0,12485(1-t)) + 0,0002046 - \\ & - (3,29337E-05) \exp(-0,45175(1-t)) + (3,29337E-05) \exp(-0,12485(1-t)) - (6,05494E-06) + \\ & - (9,09246E-06) \exp\left(-\frac{2,8186t}{\mu}\right) - (8,58638E-05) \exp\left(-\frac{1,44862t}{\mu}\right) - 0,00012 \exp\left(-\frac{0,0154,t}{\mu}\right) \\ & + (7,6978E-06) \exp\left(-\frac{2,8186t}{\mu}\right) - (7,469E-06) \exp\left(-\frac{1,44862t}{\mu}\right) + 2,7025 \exp\left(-\frac{0,0154,t}{\mu}\right) \end{aligned}$$

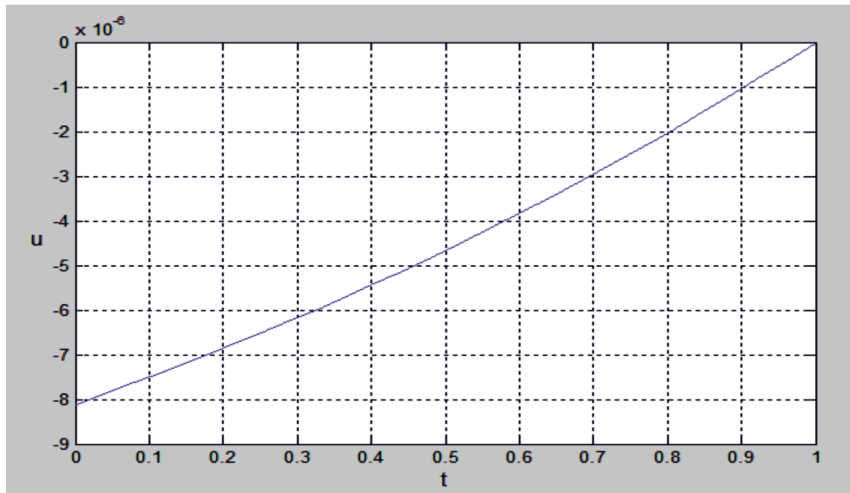


Рис. 1. Оптимальное управление медленной подсистемы

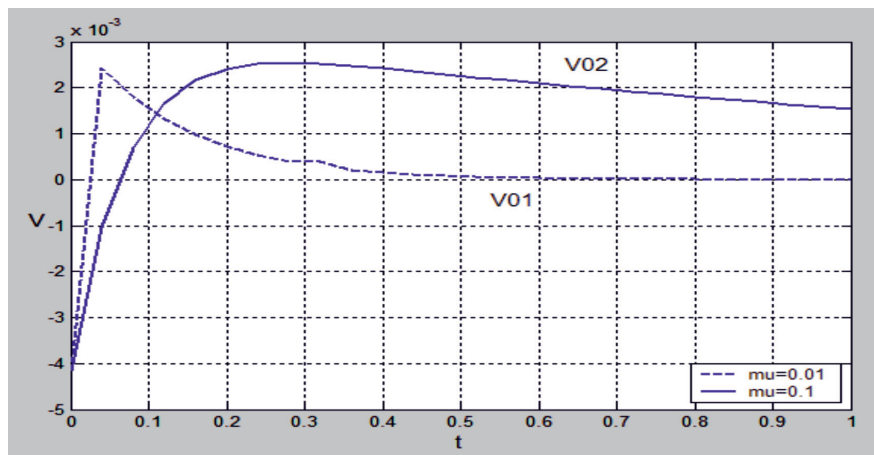


Рис. 2. Оптимальное управление быстрой подсистемы

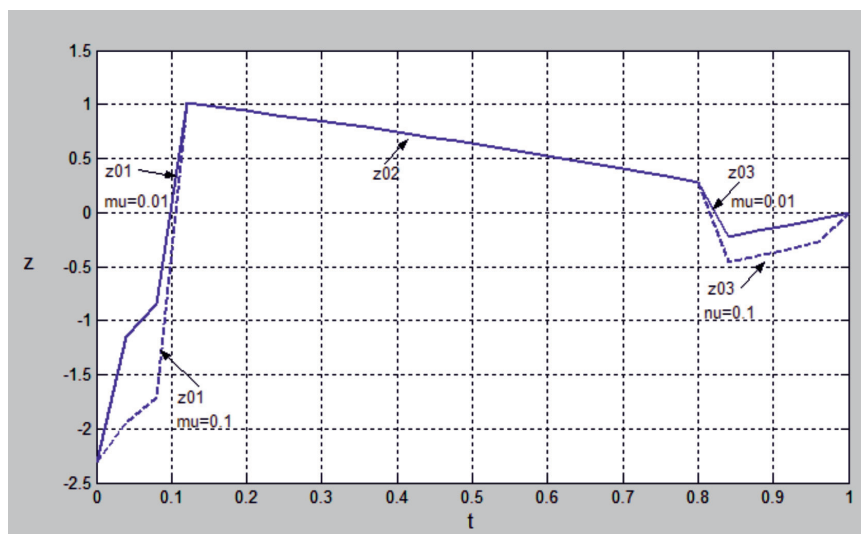


Рис. 3. Оптимальная траектория процесса

Результаты моделирование оптимального управления $\bar{u}(t) = \bar{u}^*(t)$ имеющее минимальную норму и переводящее медленную подсистему (11) из начального состояния (38) в конечное состояние (39) согласны (40) показаны на рис. 1.

Результаты моделирование оптимального управления $u_0^*(t, \mu) = V(\lambda)$, которые переводит быструю подсистему систем (11) из начального состояния (41) в конечное состояние (42) согласно (44), при различных значениях параметра μ ($\mu = 0,01$ и $\mu = 0,1$) приведены на рис. 2.

Результаты моделирования оптимальных траекторий соответствующие оптимальным управлениям (40) и (44) приведены на рис. 3.

Таким образом, оптимальная траектория $\tilde{z}_0(t, \mu)$ состоит из трех составляющих первое из них $\tilde{z}_0^2(t, \mu)$ из (45) формирует «магистраль», остальные две пограничные функции: $\tilde{z}_0^1(t, \mu)$ и $\tilde{z}_0^3(t, \mu)$ соответственно описывают переходы от начального состояния на магистраль и с магистрали в конечное состояние.

Заключение

В данной работе предложен способ решения сингулярно-возмущенной задачи оптимального управления при минимуме квадратичного функционала, который оценивает энергии управляющего воздействия. Для данной задачи предложен эффективный алгоритм нулевого равномерного асимптотического приближенного решения на основе совместного использования методов разделения движений и проблемы моментов.

Список литературы

1. Дмитриев М.Г., Курина Г.А. Сингулярные возмущения в задачах управления // Автоматика и телемеханика. 2006. № 1. С. 3–51.

2. Воропаева Н.В. Декомпозиция разнотемповых динамических систем со слабой диссипацией // Вестник СамГУ. Естественно-научная серия. 2013. № 9/2 (110). С. 5–10.

3. Соболев В.А., Осинцев М.С. Метод интегральных многообразий в задачах оптимального управления сингулярно-возмущенными системами // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, ИПУ РАН. 2014. С. 769–779.

4. Воропаева Н.В. Декомпозиция задач управления разнотемповых систем с дискретным временем // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, ИПУ РАН. 2014. С. 842–848.

5. Иманалиев З.К., Аширбаев Б.Ы. Разделение медленных и быстрых процессов в сингулярно-возмущенной управляемой системе // Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2008. № 12. С. 173–178.

6. Иманалиев З.К., Кадыров Ч.А. Исследование задачи об оптимальном управлении для системы с разнотемповыми движениями в энергетическом пространстве // Автоматика и программная инженерия. 2017. № 2 (20). С. 121–125.

7. Калинин А.И. Асимптотический метод решения задачи об управлении с минимальной силой для линейной сингулярно-возмущенной системы // Ж. Вычисл. матем. и матем. физ. 2011. Т. 51. № 12. С. 2115–2125.

8. Калинин А.И., Лавринович Л.И. Сингулярные возмущения в линейно-квадратичной задаче оптимального управления // Докл. Национальной академии наук Беларуси. 2016. Т. 60. № 2. С. 31–34.

9. Даник Ю.Э., Дмитриев М.Г. Математические проблемы динамики неоднородных систем. Магистральные траектории в экономике и сингулярные возмущения // Труды ИСА РАН. 2015. Т. 65. № 1. С. 60–67.

10. Дмитриев М.Г., Сачков Ю.Л. Асимптотическое решение сингулярно-возмущенной задачи оптимального управления, связанной с восстановлением поврежденной кривой // Дифференциальные уравнения. 2013. Т. 49. № 11. С. 1381–1389. DOI: 10.1134/S0374064113110034.

11. Гребенникова И.В. Аппроксимация решения в минимаксной задаче управления сингулярно-возмущенной системой с запаздыванием // Изв. вузов. Математика. 2011. № 10. С. 28–39.

12. Калашникова М.А. Асимптотика приближения нулевого порядка решения трехтемповой линейно-квадратичной задачи оптимального управления // Моделирование и анализ информационных систем. 2015. Т. 22. № 1. С. 85–104.

13. Красовский Н.Н. Теория управления движением. М.: Наука, 1968. 476 с.

14. Виктор Б.В. Особенности поведения систем управления с резко отличными темпами составляющих движения // Изв. АН СССР, сер. Техн. Кибернетика. 1967. № 5. С. 190–195.

15. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. М.: Наука, 1976. 424 с.

УДК 535.41:778.38

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, РАБОТАЮЩЕЙ ПРИ НЕКОГЕРЕНТНОМ ОСВЕЩЕНИИ

Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Абдулаев А.А.

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

В работе рассматривается математическая модель некогерентной оптической системы, в которую вводится aberrация типа расфокусировка. При вводе данных в компьютер необходимо использовать методы, позволяющие значительно уменьшить их общий объем. В этом случае способ должен позволить не потерять важную часть информации во время сокращения, а также реализовать способность восстанавливать весь первоначальный объем информации, переносимой интерферограммами. В качестве такого метода предлагается использовать расфокусировку. Aberrация типа расфокусировки позволяет исключить высокочастотный компонент из интерферограммы, максимально упростить его, то есть, в конечном итоге, значительно уменьшить объем информации, вводимой в компьютер. Однако в случае обработки изображений, таких как интерферограммы, то есть имеющих сложную структуру, довольно сложно идентифицировать определяющие характерные точки. Степень расфокусировки подбирается в каждом случае индивидуально, в зависимости от характеристик высокочастотной составляющей сложной интерференционной картины. При некогерентном освещении оптического устройства, используемого вместе с голографическим коррелятором, возможна реализация нужного значения расфокусированности изображения. Представлены результаты компьютерного моделирования рассмотренной оптической системы. Получены интерферограммы, из которых видно, что при правильном выборе расфокусирующего коэффициента происходит четкое выделение муара – низкочастотной составляющей сложной интерференционной картины.

Ключевые слова: оптическая система, расфокусированность, aberrация, интерферограмма, голографический интерферометр

MODELING OF THE OPTICAL SYSTEM OPERATING WITH INCOHERENT LIGHT

Ismanov Yu.Kh., Tynyshova T.D., Abdulaev A.A.

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

The paper considers a mathematical model of an incoherent optical system into which defocus type aberration is introduced. When entering data into a computer, it is necessary to use methods that can significantly reduce their total volume. In this case, the method should allow not to lose an important part of the information during the reduction, but also realize the ability to restore the entire initial amount of information carried by interferograms. It is proposed to use defocusing as such a method. Aberration like defocusing allows you to exclude the high-frequency component from the interferogram, to simplify it as much as possible, that is, ultimately, significantly reduce the amount of information entered into the computer. However, in the case of image processing, such as interferograms, that is, having a complex structure, it is rather difficult to identify defining characteristic points. The degree of defocus is selected in each case individually, depending on the characteristics of the high-frequency component of a complex interference pattern. In incoherent illumination of an optical device used together with a holographic correlator, it is possible to realize the desired image defocusing value. The results of computer simulation of the considered optical system are presented. Interferograms were obtained, from which it is seen that with the correct choice of the defocusing coefficient, a clear separation of moiré, the low-frequency component of the complex interference pattern, occurs.

Keywords: optical system, defocusing, aberration, interferogram, holographic interferometer

Задача изучения сложных фазовых объектов, особенно динамического типа, чаще всего сводится к необходимости сбора данных об изменениях оптической неоднородности во времени в этих средах. Более того, если мы говорим об интерферометрических исследованиях, это должна быть довольно подробная интерферометрическая база данных, то есть запись интерферограмм объекта или среды, снятых в разные последовательные моменты времени и при разных значениях чувствительности интерферометра [1–3]. Чтобы более точно судить о временных изменениях, происходящих в исследуемой фазовой среде, необходимо делать похожие снимки с довольно короткими

временными интервалами [4]. Однако при обработке всей этой информации, особенно если необходимо сравнить интерферограммы исследуемой фазовой среды, полученные в разные моменты времени, приходится иметь дело с огромным количеством данных [5–7]. При вводе данных в компьютер необходимо использовать методы, позволяющие значительно уменьшить их общий объем [8]. В этом случае способ должен позволить не потерять важную часть информации во время сокращения, а также реализовать способность восстанавливать весь первоначальный объем информации, переносимой интерферограммами. В качестве такого метода предлагается использовать

расфокусировку. Аберрация типа расфокусировки позволяет исключить высокочастотный компонент из интерферограммы, максимально упростить его, то есть, в конечном итоге, значительно уменьшить объем информации, вводимой в компьютер. Однако в случае обработки изображений, таких как интерферограммы, то есть имеющих сложную структуру, довольно сложно идентифицировать определяющие характерные точки. Построение сложных стилизованных изображений из простейших «информативных фрагментов» [9], которые являются наиболее характерными особенностями данного изображения, является вариантом решения проблемы, рассмотренной выше. Расфокусировка изображений оптическими методами позволяет выделить эти «информативные фрагменты», которые в дальнейшем распознаются голографическим коррелятором. С выхода голографического коррелятора информация поступает на компьютер. Компьютер синтезирует исходное изображение с использованием информативных фрагментов [10–11]. Теоретически и экспериментально было показано, что дефокусировка сопровождается выделением информативных элементов с инверсией контраста только в оптических системах, использующих некогерентное освещение. Степень расфокусировки подбирается в каждом случае индивидуально, в зависимости от характеристик высокочастотной

составляющей сложной интерференционной картины. При некогерентном освещении оптического устройства, используемого вместе с голографическим коррелятором, возможна реализация нужного значения расфокусированности изображения.

Целью данного исследования является разработка математической модели некогерентной оптической системы, которая позволила бы осуществить предварительную, низкочастотную фильтрацию сложных интерферограмм в системах их автоматической обработки и дешифровки.

Функция передачи оптического устройства, реализующего степень расфокусированности исследуемого изображения

Образование изображения с заданным значением расфокусированности происходит при прохождении некогерентного излучения сквозь оптическое устройство, включенное в схему коррелятора. Схема такого оптического устройства, сквозь которое проходит некогерентное излучение, показана на рис. 1.

Условие использования некогерентного светового излучения предполагает, что оптическое устройство нелинейно по отношению к интенсивности излучения. В этом случае преобразование световой интенсивности можно записать в следующем виде, т.е. как преобразование свертки [12]:

$$I_2(x_2, y_2) = g \int \int_{-\infty}^{\infty} |h(x_2 - x_1, y_2 - y_1)|^2 I_k(x_1, y_1) dx_1 dy_1. \quad (1)$$

Здесь I_k аппроксимация геометрической оптики для интенсивности идеального изображения; h – импульсная характеристика, то есть амплитуда в плоскости изображения для точки, имеющей координаты (x_2, y_2) , когда она подвергается воздействию точечного источника, который расположен в точке (x_1, y_1) ; g – действительная константа; I_2 – интенсивность изображения в точке с координатами (x_2, y_2) .

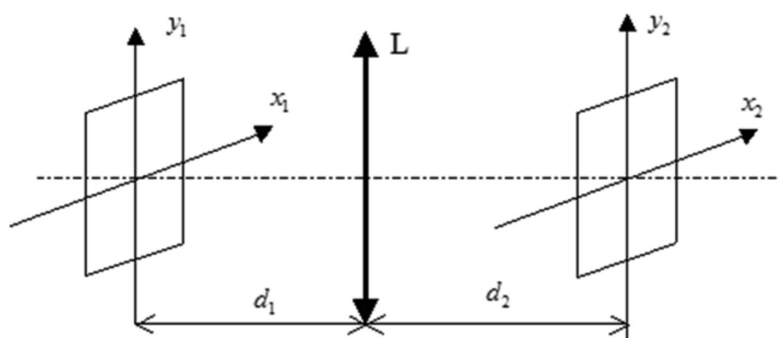


Рис. 1. Схема расфокусирующего оптического устройства: d_1 и d_2 – расстояния от объекта до линзы, и от линзы до изображения соответственно. L – линза

Как показывает частотный анализ этих оптических систем, в них реализовано линейное преобразование для значений интенсивности светового поля. Учитывая этот факт, можно ввести частотные спектры распределения значений I_k и I_2 , которые нормированы относительно идеального спектра, и значения которых задаются соотношениями [13]:

$$\Omega_k(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} I_k(x_1, y_1) \exp[-i2\pi(\xi x_1 + \eta y_1)] dx_1 dy_1}{\int \int_{-\infty}^{\infty} I_k(x_1, y_1) dx_1 dy_1}, \quad (2)$$

$$\Omega_2(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} I_2(x_2, y_2) \exp[-i2\pi(\xi x_2 + \eta y_2)] dx_2 dy_2}{\int \int_{-\infty}^{\infty} I_2(x_2, y_2) dx_2 dy_2}. \quad (3)$$

Здесь ξ, η значения координат в области частот. Аналогично функция передачи оптического устройства может быть нормализована:

$$\Omega_2(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} |h(x_2, y_2)|^2 \exp[-i2\pi(\xi x_2 + \eta y_2)] dx_2 dy_2}{\int \int_{-\infty}^{\infty} |h(x_2, y_2)|^2 dx_2 dy_2}. \quad (4)$$

Если мы применим теорему о свертке к выражению (1), то получим соотношение:

$$\Omega_2(\xi, \eta) = \Omega(\xi, \eta) \Omega_k(\xi, \eta). \quad (5)$$

Функция $\Omega(\xi, \eta)$ является передаточной функцией оптической системы. $\Omega(\xi, \eta)$ – фактически это весовой коэффициент сложного типа для частотной переменной в точке (ξ, η) , который вводится оптической системой и который присваивается весовому коэффициенту переменной, имеющей нулевую частоту. Для известной оптической когерентной передаточной функции системы $G(\xi, \eta)$ можно рассчитать оптическую передаточную функцию, используя следующую формулу:

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} G(\mu', \tau') G^*(\mu' + \xi, \tau' + \eta) d\mu' d\tau'}{\int \int_{-\infty}^{\infty} |G(\mu', \tau')|^2 d\mu' d\tau'}. \quad (6)$$

Здесь $G(\xi, \eta) = Fu\{h\}$ изображение Фурье функции отклика.

После изменения переменных $\mu = \mu' + \frac{\xi}{2}$, $\tau = \tau' + \frac{\eta}{2}$ у нас получается выражение:

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} G\left(\mu - \frac{\xi}{2}, \tau - \frac{\eta}{2}\right) G^*\left(\mu + \frac{\xi}{2}, \tau + \frac{\eta}{2}\right) d\mu d\tau}{\int \int_{-\infty}^{\infty} |G(\mu, \tau)|^2 d\mu d\tau}. \quad (7)$$

В случае когерентной системы $G(\xi, \eta) = Z(\lambda d_2 \xi, \lambda d_2 \eta)$ [14]. Здесь $Z(x, y)$ функция отверстия; λ – усредненное значение длины волны; d_2 – это удаление объектива от изображения.

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} Z\left(\mu - \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau - \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right) Z\left(\mu + \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau + \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right) d\mu d\tau}{\int \int_{-\infty}^{\infty} Z(\mu, \tau) d\mu d\tau}, \quad (8)$$

здесь вместо функции Z^2 подставляем Z . Принимаем во внимание, что Z имеет значения 1 или, вне изображения, 0.

Рассмотрим оптическую систему при наличии аберрации. Если мы рассмотрим погрешности фазы в точке с координатами (x, y) на выходе оптического устройства как $kV(x, y)$, где k – характеристика волны, и установим погрешность оптической длины пути V , то передающий коэффициент можно записать в виде:

$$Z_j(x, y) = Z(x, y) \exp[ikV(x, y)], \quad (9)$$

$Z_j(x, y)$ – запись функции зрачка в общем виде. Если мы рассмотрим аберрацию, то для когерентной передаточной функции мы можем написать соотношение:

$$G(\xi, \eta) = Z(\lambda d_2 \xi, \lambda d_2 \eta) \exp[ikV(\lambda d_2 \xi, \lambda d_2 \eta)]. \quad (10)$$

Пересечение функций $Z\left(\mu - \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau - \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right)$ и $Z\left(\mu + \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau + \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right)$ может быть представлено в виде некоторого соотношения $B(\xi, \eta)$.

Присутствие аберраций изменяет выражение для оптической передаточной функции:

$$\Omega(\xi, \eta) = \frac{\iint_{B(\xi, \eta)} \exp\left\{ik\left[V\left(\mu - \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau - \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right) - V\left(\mu + \frac{\lambda d_2 \xi}{2}, \tau + \frac{\lambda d_2 \eta}{2}\right)\right]\right\} d\mu d\tau}{\iint_{B(0,0)} d\mu d\tau}. \quad (11)$$

При условии, что мы рассматриваем дефокусировку как аберрацию, известная формула тонкой линзы преобразуется в следующий вид:

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_1} - \frac{1}{f} = \delta,$$

здесь d_1 – расстояние между объектом и объективом; d_2 – расстояние между объективом и плоскостью сфокусированного изображения; f – фокусное расстояние объектива; δ является характеристикой смещения плоскости, в которой мы видим изображение, по отношению к плоскости, в которой изображение будет сфокусировано. Выражение для эффективной ошибки длины пути с такой аберрацией, как дефокусировка, можно записать как [15]:

$$V(x, y) = \frac{\delta(x^2 + y^2)}{2}.$$

Результаты моделирования процесса дефокусировки

На рис. 2 показаны результаты расфокусировки интерферограмм для фазового объекта, такого как тонкая линза, которые были получены соответственно в каналах 3 и 4 голографического интерферометра [1–3]. На всех фигурах внутренний квадрат представляет интерференционную картину в присутствии фазовой среды. За пределами внутреннего квадрата мы имеем интерференционную картину, которая получается в отсутствие фазовой среды, при этом все остальные параметры

интерферограммы остаются неизменными [4]. Представленные на рисунках интерферограммы имеют различные значения расфокусирующего коэффициента (расфокусирующие коэффициенты интерферограмм на рис. 2, а–в равны $\delta = 0; 0,003; 0,007$). Рисунки показывают, что правильный подбор расфокусирующего коэффициента интерферограммы позволяет довольно четко различить муаровую структуру, то есть низкочастотную составляющую. В этом случае дефокусировка работает как пространственный фильтр, который удаляет высокие частоты в интерферограммах, которые создаются на выходе голографического интерферометра с несколькими выходными каналами.

Выводы

Разработана математическая модель, описывающая процесс расфокусировки изображений для случая некогерентной оптической системы и монохроматического света.

Предложенная модель может быть использована в качестве метода предварительной подготовки изображений (интерферограмм) в компьютерных системах для обработки сложных интерферограмм без использования устройств оптической расфокусировки. Метод расфокусировки может быть достаточно эффективно использован в двух случаях:

а) в качестве фильтра нижних частот, который при соответствующем выборе параметра расфокусировки уменьшает влияние высокочастотных компонентов сложной интерференционной картины и более четко различает муаровую картину.

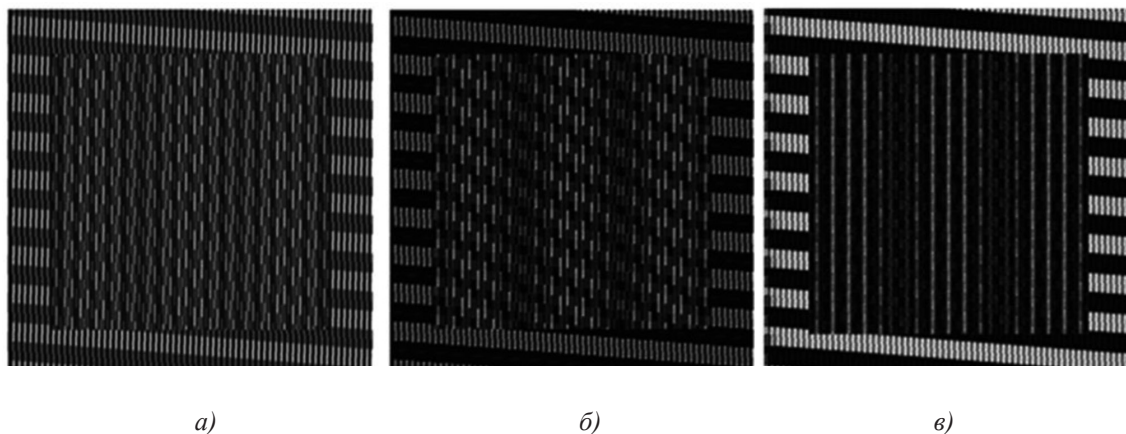


Рис. 2. Интерферограммы линзы. Канал 3 голографического интерферометра с несколькими выходными каналами [1]: а) расфокусировка отсутствует; параметр расфокусирующий коэффициент $\delta = 0$; б) расфокусирующий коэффициент $\delta = 0,003$; в) расфокусирующий коэффициент $\delta = 0,007$

б) как способ выделения информативных фрагментов изображений, с помощью которого можно при необходимости синтезировать исходное изображение. Этот метод предварительной обработки изображений позволяет существенно сократить объем входных данных при их компьютерной обработке, классификации и декодировании интерферограмм.

Список литературы

1. Yaroslavsky L. Introduction to Digital Holography. V. 1. Bentham E-book Series «Digital Signal Processing in Experimental Research». 2010.
2. Исманов Ю.Х., Алымкулов С.А. Саморепродуцирование регулярных объектов с ограниченной апертурой // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2015. № 7. С. 3–5.
3. Ismanov Y.Kh., Dzhamankyzov N.K. Holographic Interferometer for the Study of Phase Media, Which Has Four Output Channels of Different Sensitivity. International Journal of Optics. 2019. V. 2019. P. 2936172.
4. Исманов Ю.Х., Тынышова Т.Д., Алымкулов С.А. Использование приближения Френеля для расчета распределения светового поля, прошедшего сквозь решетку // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры 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, 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-wave-length 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.

УДК 517.98

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР ОРТОГОНАЛИЗАЦИИ БАЗИСОВ ЕВКЛИДОВЫХ И ГИЛЬБЕРТОВЫХ ПРОСТРАНСТВ

Пеньков В.Б., Левина Л.В.

Липецкий государственный технический университет, Липецк, e-mail: vbpenkov@mail.ru

Для описания состояний многих объектов физики вообще и механики сплошных сред в частности используются евклидовы и сепарабельные гильбертовы пространства, содержащие соответственно конечные либо счетные базисы. Наиболее трудоемким и ответственным шагом при использовании аппаратов пространств является процедура ортогонализации базиса, сводящегося к построению матрицы Шмидта, декомпозирующей симметричную матрицу Грама перекрестных скалярных произведений базиса. Традиционно для ортогонализации используется процесс Грама – Шмидта, строящий ортонормированный базис из исходного. Существуют иные матричные подходы для разложения матрицы Грама. Для сопоставления с таковыми процесс Шмидта представлен в форме матричного алгоритма Шмидта. Выполнено сопоставление процедур ортогонализации по Шмидту, Холецкому и сингулярному разложению. Сравниваются показатели эффективности алгоритмов: время счета, точность. Статистически обработаны и графически сопоставлены показатели эффективности алгоритмов. Сделаны выводы о преимуществах подхода Холецкого и, иногда для гильбертовых пространств, способа сингулярного разложения перед традиционно применяемым разложением, осуществляемым на основе теоремы Грама – Шмидта. Зависимости от размерности исходного базиса позволяют подобрать точность представления чисел для эффективного применения методов ортогонализации.

Ключевые слова: ортогонализация, ортонормированный базис, исходный базис, ортогонализация Грама-Шмидта, теорема Шмидта, метод Холецкого, метод сингулярного разложения, спектральные методы

COMPARATIVE ANALYSIS OF ORTHOGONALIZATION PROCEDURES FOR BASES OF EUCLIDEAN AND HILBERT SPACES

Penkov V.B., Levina L.V.

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, e-mail: vbpenkov@mail.ru

To describe the states of many objects of physics in general and continuum mechanics in particular, Euclidean and separable Hilbert spaces are used, containing finite or countable bases, respectively. The most time-consuming and responsible step when using space devices is the procedure of orthogonalization of the basis, which reduces to the construction of a Schmidt matrix decomposing a symmetric Gram matrix of cross-scalar products of the basis. Traditionally, the Gram – Schmidt process is used for orthogonalization, which builds an orthonormal basis from the original one. There are other matrix approaches for decomposing the Gram matrix. For comparison with these, the Schmidt process is presented in the form of a matrix Schmidt algorithm. Comparison of orthogonalization procedures for Schmidt, Cholesky, and singular decomposition is performed. Performance indicators of algorithms are compared: counting time, accuracy. Statistically processed and graphically compared performance indicators of algorithms. Conclusions are drawn about the advantages of the Cholesky approach and, sometimes for Hilbert spaces, the method of singular decomposition over the traditionally used decomposition based on the Gram – Schmidt theorem. Dependences from the dimension of the basis allow to choose the accuracy of the representation of numbers for effective use of orthogonalization methods.

Keywords: orthogonalization, orthonormal basis, initial basis, Gram-Schmidt orthogonalization, Schmidt theorem, Cholesky method, singular decomposition method, spectral methods

Процесс ортогонализации позволяет построить ортонормированный базис Ψ как для евклидова, так и для сепарабельного гильбертова пространства на основе исходного базиса Φ того же пространства. Реально базис строится для евклидова пространства. В случае гильбертова пространства приходится проводить усечение счетного базиса, а при недостаточной точности вычислений наращивать удерживаемый отрезок базиса. В любом варианте отрезок исходного базиса будем обозначать $\Phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}$, $\varphi_j \in \Xi$, где Ξ – пространство, в котором выполняется ортогонализация в соответствии со скалярным произведением (φ_1, φ_2) .

Цель исследования: обоснование выбора метода эффективной ортогонализации базисов евклидова/гильбертова пространств.

*Классическая ортогонализация
Грама-Шмидта*

Результатом перекрестных скалярных произведений элементов строится матрица Грама

$$G = [g_{ij}]_{n \times n}, \quad g_{ij} = (\varphi_i, \varphi_j). \quad (1)$$

Процесс построения матрицы Грама является наиболее энергоемким во всех энергетических методах вычислений, в которых требуется проводить ортогонализа-

цию. Он опирается на теорему Шмидта [1]. Она конструктивна: процесс доказательства одновременно является эффективным алгоритмом ортогонализации.

Теорема Шмидта

Пусть $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n, \dots$ – линейно независимая система элементов в евклидовом пространстве Ξ . Тогда в Ξ существует система элементов $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n, \dots$, удовлетворяющая условиям:

1) она ортонормированная: $(\psi_k, \psi_j) = \delta_{kj}$ (δ_{kj} – символ Кронекера);

2) каждый элемент ψ_n есть линейная комбинация элементов $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$:

$$\psi_n = h_{n1}\varphi_1 + h_{n2}\varphi_2 + \dots + h_{nn}\varphi_n, \quad h_{nn} \neq 0;$$

3) каждый элемент φ_n представим в виде

$$\varphi_n = p_{n1}\psi_1 + p_{n2}\psi_2 + \dots + p_{nn}\psi_n, \quad p_{nn} \neq 0.$$

Каждый элемент системы 1)–3) определен однозначно с точностью до множителя ± 1 .

Доказательство и алгоритм ортогонализации являются рекурсией.

Шаг 1. Элемент ψ_1 определим так:

$$\psi_1 = \pm \frac{\varphi_1}{\|\varphi_1\|} = \pm \frac{\varphi_1}{\sqrt{(\varphi_1, \varphi_1)}}.$$

$$\text{Отсюда видно, что } h_{n1} = \frac{1}{\|\varphi_1\|}.$$

Шаг k. В n -мерном векторном пространстве оцениваются «проекции» элемента ψ_k на уже построенные ортонормированные «направления», соответствующие всем предыдущим ψ_j , благодаря чему оценивается остаток b_k (не равный нулю из-за линейной независимости векторов ψ_j базиса)

$$b_k = \varphi_k - h_{k1}\varphi_1 - h_{k2}\varphi_2 - \dots - h_{k,k-1}\varphi_{k-1};$$

$$h_{kj} = (\varphi_k, \psi_j),$$

после чего делением на $\|b_k\|$, ($\|b_k\|^2 = (b_k, b_k)$) выполняется нормирование нового ортогонального элемента: $\psi_k = \pm \frac{b_k}{\|b_k\|}$.

Отметим важную особенность процесса ортогонализации Шмидта: на k -ом шаге используется новый независимый элемент φ_k исходного базиса, через него и построенные ранее элементы $\psi_1, \dots, \psi_{k-1}$ строится ортонормированный элемент ψ_k . Можно существенно поднять эффективность процесса ортогонализации, переписав его в форме, удобной для машинного счета, использующей лишь перекрестные скалярные произведения элементов исходного базиса, которые сведены в матрицу Грама (1). Рассмотрим некоторые подходы.

Матричный алгоритм Шмидта

Классический алгоритм Шмидта предполагает вычисление скалярных произведений на каждом шаге процесса ортогонализации. Алгоритмически более удобным представляется предварительное вычисление матрицы Грама. После этого ставится вопрос о разложении ее на матричные множители, позволяющие явно выражать элементы ортонормированного базиса через элементы исходного базиса:

$$\Psi = H\Phi, \quad H = [h_{ij}]_{n \times n}. \quad (2)$$

Детальное рассмотрение классической процедуры ортогонализации позволяет описать алгоритм, в котором используется матричная форма представления промежуточной информации. Для удобства интерпретации нижеизложенного введем специальные матричные обозначения, сопутствующие вычислительному процессу. В частности, для краткости будем обозначать конструкциями вида $a, (a), [a]$ скаляр, вектор-столбец и матрицу соответственно. Условимся для этих объектов единичной размерности использовать упрощенную запись $a = (a)_1 = [a]_{1 \times 1}$, чтобы не возникало иллюзии, что в результате матричных операций появляется скаляр.

Полагаем $\Phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}$, $\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n\}$ вектор-столбцами. Введем матричное обозначение для скалярного произведения (векторов, квадратных матриц) в виде

$$(\Phi, \Psi) = [\Phi, \Psi^T], \quad (3)$$

так что результатом свертки (3) является $n \times n$ -матрица. Такая запись удобна тем, что позволяет расшифровывать процедуру перемножения векторов или матриц из элементов пространства Ξ через матричную операцию. Например, матрица Грама есть скалярное произведение вектор-столбцов Φ

$$G = (\Phi, \Phi) = [\Phi, \Phi^T] = [(\varphi_i, \varphi_j)]_{n \times n}.$$

Очевидны свойства однородности операции при работе со скалярными числовыми множителями α, β , векторами a, b из чисел, $n \times n$ -матрицами A, B :

$$(\alpha\Phi, \beta\Psi) = \alpha[\Phi, \Psi^T]\beta,$$

$$(a\Phi, b\Psi) = [(a\Phi), (b\Psi)^T] = a[\Phi, \Psi^T]b^T, \quad (4)$$

$$(A\Phi, B\Psi) = [(A\Phi), (B\Psi)^T] = A[\Phi, \Psi^T]B^T.$$

Свойства (4) устанавливают цель построения матрицы Шмидта H , выражающей ортонормированный базис Ψ через исход-

ный Φ (2). Поскольку скалярное произведение ортонормированного вектора Ψ на себя должно давать единичную матрицу E :

$$E = [\Psi, \Psi^T] = [(H\Phi), (H\Phi)^T] = \\ = H[\Phi, \Phi^T]H^T = HGH^T,$$

то разложение Шмидта состоит в представлении матрицы Грама в форме

$$G = H^{-1}H^{T-1}. \quad (5)$$

Рекурсивный матричный алгоритм

Его суть состоит в последовательном наполнении матрицы Шмидта $H = [h_{ij}]_{n \times n}$ и ей сопутствующей матрицы $T = [t_{ij}]_{n \times n}$ посредством приращения строк. Обозначим $H^{(h)}, T^{(h)}$ верхнетреугольные квадратные матрицы (подматрицы H, T соответственно) размерностью $k \times k$. Изначально обе матрицы полагаем обнуленными: $H = T = [0]_{n \times n}$. Через $H_j, T_j, H_j^{(k)}, T_j^{(k)}$ обозначаем j -е строки соответствующих матриц.

Шаг $k = 1$. Полагаем $T^{(1)} = [1]$, $H^{(1)} = [1/\sqrt{g_{11}}]$. Далее – по индукции.

Шаг k . Перебираем строки матриц в последовательности $l \in \{1, 2, \dots, k\}$ и назначаем значения матрицы $T^{(k)}$ по правилу

$$t_{kl} = \begin{cases} -\sum_{j=1}^{k-1} \sum_{i=1}^j H_j^{(k-1)} G_i^{(k)} H_i^{(k-1)T}, & l < k \\ 1, & l = k \end{cases}.$$

Оцениваем норму остатка разложения по уже построенному отрезку базиса $\|b_k\|^2 = T_k G T_k^T$ и нормируем коэффициенты строки к матрицы Шмидта

$$H_k = \frac{1}{\|b_k\|} T_k.$$

При достижении k предела n процесс построения матрицы Шмидта окончен. Погрешность вычисления можно оценить вычислением любой матричной нормы $\|HGH^T - E\|$ или использовать ресурсы, предусмотренные конкретной вычислительной системой (например, в Mathematica [2] для такой цели можно использовать оператор Assiguasy).

Метод Холецкого

Разложение Холецкого построено для класса эрмитовых матриц, для которых транспонирование в сочетании с комплексным сопряжением возвращает исходную

матрицу. Матрица Грама относится к более узкому классу симметричных ($G = G^T$), состоящих из действительных чисел.

Ассоциация с разложением Холецкого [3]

$$G = X X^T, \quad (6)$$

которое для любой положительно определенной матрицы G существует и единственно [4], устанавливает связь матрицы Шмидта и нижнетреугольной матрицы Холецкого

$$H = X^{-1}. \quad (7)$$

Прямой алгоритм разложения таков.

Квадратная $n \times n$ -матрица изначально полагается равной нулю: $X = 0$.

1. Перебирается последовательность строк $i \in \{1, \dots, n\}$.

2. Для каждого i перебираются номера столбцов $j \in \{1, \dots, i\}$.

Вычисляется частичная сумма

$$S_j = \begin{cases} 0, & j = 1 \\ \sum_{k=1}^{j-1} x_{ik} x_{jk}, & j > 1. \end{cases}$$

Значение элемента x_{ij} матрицы X равно

$$x_{ij} = \begin{cases} (g_{ij} - s) / x_{ij}, & j < i \\ \sqrt{g_{ij} - s}, & j = i \end{cases}.$$

Нижнетреугольная матрица X построена. Точность разложения можно оценить нормой невязки разложения $\|X X^T - G\|$.

Замечание. В силу симметрии матриц X, X^T последовательность действий можно организовать не по столбцам, а по строкам (реализовано в Mathematica процедурой CholeskyDecomposition).

Способ сингулярного разложения

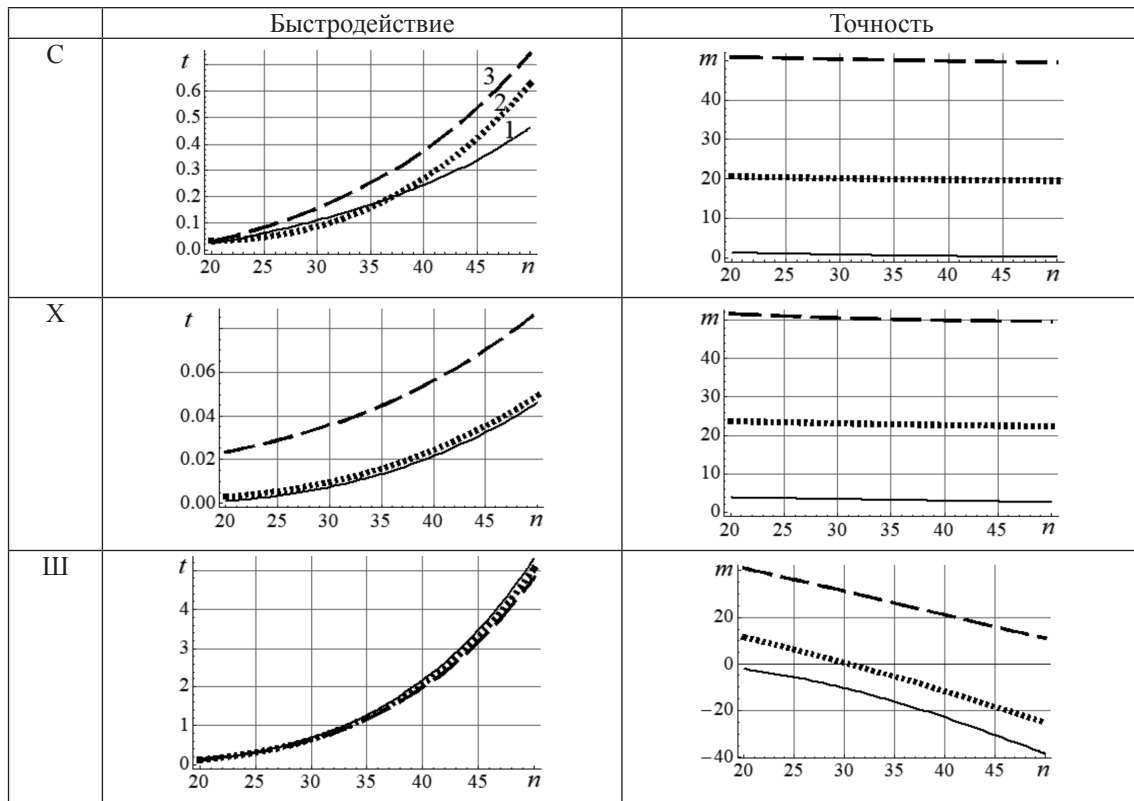
В силу эрмитовости неотрицательно определенная матрица имеет сингулярное разложение [3]. Положительно определенная симметричная матрица Грама, как частный случай эрмитовой, может быть представлена в спектральной форме:

$$G = U \Lambda U^T, \quad (8)$$

где Λ – диагональная матрица спектра, состоящая из положительных собственных чисел G , т.е. $\Lambda = \text{diag}\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$, $\lambda_j > 0$. При этом спектр Λ может быть упорядочен в любой последовательности с учетом кратности (например, в порядке невозрастания значений λ_j). Унитарная (в случае матрицы Грама – ортогональная) матрица U удовлетворяет условию

$$U U^T = E.$$

Зависимости от размерности матрицы Грама



Представим Λ в виде произведения двух функций от матрицы, обозначенных $\sqrt{\Lambda}$ и состоящих из соответствующих корней из положительных собственных чисел: $\sqrt{\Lambda} = \text{diag}\{\sqrt{\lambda_1}, \sqrt{\lambda_2}, \dots, \sqrt{\lambda_n}\}$. Тогда

$$G = U \sqrt{\Lambda} (U \sqrt{\Lambda})^T = S S^T, \quad S = (U \sqrt{\Lambda}). \quad (9)$$

Здесь матрица H не является нижнетреугольной матрицей Холецкого. Тем не менее подстановка

$$\Psi = S^{-1} \Phi$$

ортогонализирует исходный базис Φ пространства Ξ .

Замечание. В системе Mathematica сингулярное разложение реализуется операцией SingularValueDecomposition. При этом собственные числа матрицы упорядочиваются по убыванию.

Сравнительный анализ эффективности алгоритмов декомпозиции

Проведен сравнительный анализ эффективности методов разложения (сингулярного (С), Холецкого (Х), Шмидта (Ш)) в зависимости от размерности n (ось абсцисс) матрицы Грама при различных значениях мантисс μ действительных величин, уча-

ствующих в разложениях, в их десятичном представлении. Графически обработанные результаты численного эксперимента сведены в таблице, где метками 1, 2, 3 обозначены значения $\mu = 10, 30, 60$ соответственно. В левом столбце таблицы по оси ординат отложено время счета (секунды), в правом – гарантированное количество m доверительных разрядов после запятой в десятичном представлении результатов счета. Кривые построены на основе обработки статистической информации методом наименьших квадратов. Для сбора статистики для каждой размерности n генерировалась случайным образом система линейно независимых векторов $\mathbf{a} = (a_i)_n$ количеством $N \gg 1$ раз (практически принималось $N = 20$) и строились матрицы Грама посредством скалярного произведения $(\mathbf{a}, \mathbf{a}) = [\mathbf{a}, \mathbf{a}^T] = [a_i a_j]_{n \times n}$. Затем выполнялись действия в соответствии с анализируемым методом и оцениваемые характеристики статистически усреднялись и аппроксимировались полиномами четвертой степени от размерности n и резервируемой длины мантиссы представления десятичных чисел m . Результаты представлены сериями кривых таблицы при $\mu \in \{10, 30, 60\}$. Анализ результатов позволяет сделать ряд выводов.

Выводы относительно времени счета t' :

1) t' в методе Шмидта значительно превышает таковое в методах сингулярного разложения и разложения Холецкого и длина мантииссы на нем практически не сказывается;

2) t' в сингулярном разложении существенно зависит от размерности базиса; при базисах малой размерности длина мантииссы практического значения не имеет; при любом m t' значительно превышает время счета по Холецкому;

3) в отношении t' метод Холецкого является по сравнению с использованными средствами наиболее ресурсосберегающим; при коротких мантииссах t' практически одинаково для различных n , однако для мантиисс существенного размера начинает значительно увеличиваться.

Выводы относительно точности, оцениваемой количеством A доверительных знаков после десятичной точки:

1) в методах Холецкого и сингулярного разложения точность разложения слабо зависит от размерности n ; при малой длине мантииссы она может теряться;

2) точность метода Шмидта существенно падает с ростом n ; при малых размерностях n довольно быстро теряется: переход графиков через нулевую отметку свидетельствует о явной непригодности результатов решения к использованию; достичь доверия результатам можно только за счет существенного увеличения рабочего диапазона мантииссы чисел в десятичном представлении.

Замечание. Ортогонализация базиса является энергозатратным процессом в решении механических задач энергетическими методами, например, методом граничных состояний. Методом граничных состояний решались задачи для различных сред: упругих, анизотропных [5, 6], термостатики, термоупругости [7].

Выводы

1. Выигрышным во всех отношениях является метод декомпозиции Холецкого, даже не смотря на то, что конечной целью процесса ортогонализации является построение матрицы Шмидта (это достигается обращением матрицы Холецкого в соот-

ветствии с (7)). Точность вычисления при переходе от X к N не должна падать существенно (для треугольной матрицы можно указать более короткий путь для обращения, чем традиционные вычисления алгебраических дополнений элементов; вычисление определителя сводится к перемножению диагональных элементов матрицы).

2. Метод сингулярного (спектрального) разложения несколько более трудоемок, чем метод Холецкого, но он имеет практическое преимущество, состоящее в возможности упорядочения спектра матрицы Грама в соответствии с потребностями исследователя. В частности, при использовании ортонормированного базиса для решения конкретных задач можно ограничивать размерность отрезка базиса гильбертова пространства более существенно, чем без возможности упорядочения. От этого зависит размерность разрешающей бесконечной системы уравнений при слабой корректировке суммы Бесселя (левая часть неравенства Бесселя) со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научных проектов № 19-41-480003 «р_a», № 19-48-480009 «р_a».

Список литературы

1. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. 7-е изд. М.: Физматлит, 2004. 572 с.
2. Курбатов В.Г., Чернов В.Е. Пакет «Математика» в прикладных научных исследованиях. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. 240 с.
3. Курбатов В.Г., Курбатова И.В. Вычислительные методы спектральной теории. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019. 323 с.
4. Голуб Д., Ч. Ван Лоун. Матричные вычисления. М.: Мир, 1999. 548 с.
5. Иванов Д.А., Бузина О.П. Решение задач анизотропной упругости для многосвязной плоской области методом граничных состояний // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2011. № 4 (26). С. 25–29.
6. Иванов Д.А. Решение обобщенной задачи Сен-Венана для полых анизотропных стержней // Наука и бизнес: пути развития. 2014. № 5 (35). С. 66–69.
7. Пеньков В.Б., Саталкина Л.В. Метод граничных состояний с возмущениями: неоднородные и нелинейные задачи теории упругости и термоупругости // LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co., Germany. 2012. 108 с.

УДК 535.3

ВЛИЯНИЕ РАССЕЯНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ В МЕТОДЕ «ТЕПЛОВОЙ ЛИНЗЫ»

Петропавловский В.М.

ФБГОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
Самара, e-mail: Petropavlovsky-Vlad@yandex.ru

Морская и океаническая вода в сине-зеленой области обладает очень малым показателем поглощения ($\alpha \sim 10^{-4} - 10^{-3} \text{ м}^{-1}$). Его определение является сложной технической задачей, в первую очередь из-за того, что она обладает значительным показателем рассеяния ($k_s \sim 10^{-2} - 10^{-1} \text{ м}^{-1}$). Метод «тепловой линзы» основан на явлении самодефокусировки лазерного пучка при прохождении через исследуемую среду и позволяет определять малые показатели поглощения. Рассмотрена экспериментальная установка для его реализации. Относительное изменение мощности излучения после диафрагмы в первом приближении прямо пропорционально показателю поглощения среды. Предложено использовать данный способ для исследования сред, в которых показатель рассеяния значительно превышает показатель поглощения. Цель данной работы – изучить возможность применения метода «тепловой линзы» для определения малого показателя поглощения сильно рассеивающей среды и исследовать зависимость точности определения поглощения от показателя рассеяния для разных размеров рассеивающих сфер. Рассмотрено рассеяние света в среде с однородными частицами в виде сфер. Показано, что свет, рассеянный на большие углы, быстро выходит из области тепловой линзы, что приводит только к экспоненциальному уменьшению его интенсивности пучка. Были проведены измерения зависимости изменения интенсивности в центре лазерного пучка из-за самодефокусировки (сигнала «тепловой линзы») от показателя рассеяния среды для рассеивающих сфер диаметром 0,5 мкм, 1,2 мкм и 3 мкм. Получено, что частицы с диаметром меньше или порядка длины волны не оказывают влияния на уровень сигнала, т.е. на точность метода. Для частиц большого размера погрешность метода может составить от 10% до 40%.

Ключевые слова: лазер, высокочувствительная лазерная спектроскопия, тепловая линза, слабопоглощающие жидкости, рассеяние света

THE EFFECT OF SCATTERING ON THE ACCURACY OF THE ABSORPTION INDEX IN THE «THERMAL LENS» METHOD

Petropavlovskiy V.M.

The Federal State Budget Educational Institution of Higher Education Povolzhskiy State University
of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: Petropavlovsky-Vlad@yandex.ru

Marine and oceanic water in the blue-green region has a very low absorption index ($\alpha \sim 10^{-4} - 10^{-3} \text{ M}^{-1}$). Its determination is a complex technical task, primarily due to the fact that it has a significant scattering index ($k_s \sim 10^{-2} - 10^{-1} \text{ m}^{-1}$). The «thermal lens» method is based on the phenomenon of self-focusing of a laser beam when passing through the medium under study and allows determining small absorption rates. An experimental setup for its implementation is considered. The relative change in the radiation power after the diaphragm in the first approximation is directly proportional to the absorption index of the medium. It is proposed to use this method for the study of media in which the scattering index significantly exceeds the absorption index. The purpose of this work is to study the possibility of using the «thermal lens» method to determine the small absorption index of a highly scattering medium and to investigate the dependence of the accuracy of the absorption determination on the scattering index for different sizes of scattering spheres. Light scattering in a medium with homogeneous particles in the form of spheres is considered. It is shown that light scattered at large angles quickly leaves the area of the thermal lens, which only leads to an exponential decrease in its beam intensity. Measurements were made of the dependence of the intensity change in the center of the laser beam due to self-focusing (the «thermal lens» signal) on the scattering index of the medium for scattering spheres with a diameter of 0.5 microns, 1.2 microns and 3 microns. It is found that particles with a diameter less than or on the order of the wavelength do not affect the signal level, i.e., the accuracy of the method. For large particles, the error of the method can range from 10% to 40%.

Keywords: laser, high-sensitivity laser spectroscopy, thermal lens, weakly absorbing liquids, light scattering

Морская и океаническая вода в сине-зеленой области обладает очень малым показателем поглощения ($\alpha \sim 10^{-4} - 10^{-3} \text{ м}^{-1}$). Его определение является сложной технической задачей, в первую очередь из-за того, что она обладает значительным показателем рассеяния ($k_s \sim 10^{-2} - 10^{-1} \text{ м}^{-1}$). Классические методики определения поглощения основаны на измерении интенсивностей падающего, прошедшего и рассеянного излучения и поэтому дают значительную ошибку (100–500%).

В работе [1] изложено применение метода «тепловой линзы» для стабилизации мощности излучения лазера. Он основан на явлении самодефокусировки лазерного пучка при прохождении через исследуемую среду. В [2] описывается использование этого метода для нахождения показателя поглощения слабопоглощающих жидкостей. Там же рассмотрена экспериментальная установка для его реализации, показано, что относительное изменение мощности излучения

после диафрагмы в первом приближении прямо пропорционально показателю поглощения среды. Оценен динамический диапазон и чувствительность метода. Также было сделано предположение, что данный способ может использоваться для исследования сред, в которых показатель рассеяния значительно превышает показатель поглощения.

Цель данной работы – изучить возможность применения метода «тепловой линзы» для определения малого показателя поглощения сильно рассеивающей среды и исследовать зависимость точности определения поглощения от показателя рассеяния для разных размеров рассеивающих сфер.

*Рассеяние в среде
с однородными частицами*

Диаграмма рассеяния света одиночной частицей зависит от ее размера и формы.

Пусть частица освещается плоской волной бесконечной протяженности, идущей в направлении оси z .

$$E_i = E_0 \exp[i(kz - \omega t)]. \quad (1)$$

Рассеянная волна на большом расстоянии является сферической волной с амплитудой, зависящей от угла и обратно пропорциональной расстоянию r .

$$E_s = S(\theta, \varphi) \frac{e^{i(kr - \omega t)}}{ikr}. \quad \text{Амплитудная функция}$$

$S(\theta, \varphi)$ комплексная и может быть записана в виде $S(\theta, \varphi) = s \cdot \exp[i\varphi(\theta)]$, где s положительно а φ вещественно, причем $\varphi - \pi/2 < 0$, т.е. фаза рассеянной волны запаздывает относительно падающей. Так как интенсивность волны пропорциональна квадрату амплитуды, то интенсивность находится как

$$I_s = \frac{S^2(\theta, \varphi)}{k^2 r^2} I_0. \quad (2)$$

Для направления вперед ($\theta = 0$) из соображений непрерывности получаем $S(0) = s(0) \exp[i\varphi(0)]$.

В нашем случае свет, рассеянный на большие углы, быстро выходит из области тепловой линзы, что приводит только к экспоненциальному уменьшению его интенсивности пучка. Поэтому для света, рассеянного вперед (под малыми углами), можно использовать параксиальное приближение $r = z + (x^2 + y^2)/2z$. Общая амплитуда волны определяется суперпозицией рассеянной и падающей волн.

$$E = E_i \left[1 + S(0) \frac{e^{\frac{ik(x^2 + y^2)}{2z}}}{ikz} \right]. \quad (3)$$

В этом выражении второе слагаемое много меньше 1, поэтому полная интенсивность света может быть найдена как

$$I = I_0 \left[1 + \frac{2}{kz} \operatorname{Re} \left\{ \frac{S(0)}{i} e^{\frac{ik(x^2 + y^2)}{2z}} \right\} \right]. \quad (4)$$

Зависимость от формы частицы незначительна [3] и ее в первом приближении можно не учитывать. Поэтому мы будем рассматривать рассеяние на однородных шарах с показателем преломления, отличным от показателя преломления среды.

Для сферической рассеивателя зависимости от φ не будет. Кроме этого исчезает зависимость от поляризации света и матричные уравнения переходят в скалярные

$$I_s = |S(\theta)|^2 I_0. \quad (5)$$

Основной вклад в рассеяние на небольшой угол вносит дифракция света. Основная интенсивность светового потока (98%) сосредоточена в угле определяющим первый дифракционный минимум. В случае сферы диаметром d – угол $\theta = (1,22\lambda)/(n_2 d)$, λ – длина волны, n_2 – показатель преломления среды. Для шаров с размером $d \gg \lambda$ и гладкой поверхностью нужно учитывать рефракцию и отражение света. Это приводит к появлению дополнительных поправочных членов в конечном выражении.

Если диаметр шара мал и относительный показатель преломления невелик ($4\pi d(n_{21} - 1)/\lambda \ll 1$), то можно найти $S(\theta)$ по формулам теории Релея-Ганса:

$$S(\theta) = ik^3 \alpha \cdot \exp(i\varphi) \cdot \cos(\theta); \quad (6)$$

$\alpha = (n_{21} - 1)d^3/12$, $k = 2\pi/\lambda$, φ – сдвиг фазы, зависящий от θ . При этом каждый элемент объема дает релеевское рассеяние независимо от других элементов объема. Волны, рассеянные в данном направлении разными элементами, интерферируют. Расчеты диаграммы направленности проводились численными методами на основании классических формул, рекомендуемых для практического применения в работе [4]. Результаты расчета для некоторых случаев представлены на рис. 1.

Прохождение света через облако частиц

Когерентная составляющая лазерного пучка, проходя через облако частиц экспоненциально убывает

$$I(z) = I_0 \cdot \exp(-k_s \cdot z), \quad (7)$$

k_s – показатель рассеяния света, $k_s = \sigma n$, σ – эффективное сечение рассеяния, n – концентрация частиц. Рассеянный свет может повлиять на конечный сигнал, если он вы-

идет незначительно за пределы области взаимодействия ($\theta = 0,5^\circ - 1^\circ$) [5]. Практически такие углы соответствуют рассеянию на рассеивателях больших размеров ($d \gg \lambda$). Рассеяние можно считать однократным, если выполняется условие $\sigma N < S$, N – общее число частиц, S – освещаемая в образце площадь. Для среды длиной L это условие легко свести к виду $\sigma \cdot n \cdot L < 1$. Используя (7) получаем макроусловие для однократного рассеяния. Ему соответствует ослабление интенсивности прошедшего света не более чем в 2,7 раза ($I_0/I < 2,7$).

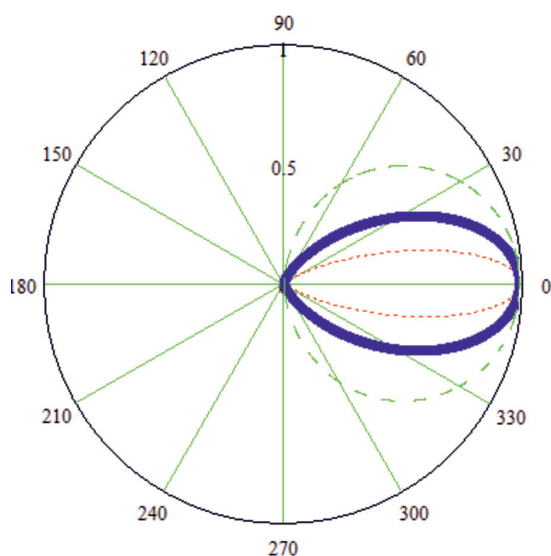


Рис. 1. Диаграмма направленности света (длина волны $\lambda = 0,65$ мкм), рассеянного вперед одиночными сферическими объектами разных размеров (относительный показатель преломления сферы $n_{21} = 1,15$): 1 – диаметр сферы 3 мкм (внешняя пунктирная линия), 2 – диаметр сферы 1,2 мкм (толстая линия), 3 – диаметр сферы 0,5 мкм (внутренняя пунктирная линия)

Использование сферических частиц, для которых вероятность рассеяния неполяризованного света не зависит от азиму-

тального угла ϕ , позволяет оценить средний угол для m случаев рассеяния как $\theta_m \approx \theta_1^{0,8m}$, θ_1 – средний угол однократного рассеяния. Таким образом, при многократном рассеянии вероятность выхода излучения за пределы области «тепловой линзы» выше, чем при однократном.

Схема эксперимента

Лазерное излучение с длиной волны $\lambda \approx 650$ нм и мощностью $P = 10$ мВт проходило через коллиматор (рис.2), конструктивно объединенный с электрооптическим модулятором света, который создавал импульсы длительностью 0,01–50 мс. Шейка каустики формировалась линзой с фокусным расстоянием $F = 25$ см.

Диаметр пучка на линзе составил $d = 3$ мм. Первоначально использовалась кювета длиной 1 см. Используя методику расчета комплексного параметра пучка q ($\frac{1}{q} = \frac{1}{R} - \frac{i\lambda}{\pi w^2}$) (R – радиус кривизны волнового фронта, $w = d/2$), легко получить положение и размер перетяжки за линзой.

$$v_0 = \frac{w_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{b_0}{F}\right)^2}} = 46 \text{ мкм},$$

$$x = \frac{|F|}{1 + \left(\frac{|F|}{b_0}\right)^2} = 24,9 \text{ см}.$$

Кювета с образцом помещалась таким образом, чтобы ее середина находилась на расстоянии, равном конфокальному параметру ($b_1 = \frac{\pi v_0^2}{\lambda} = 5,5$ мм, за плоскостью максимальной фокусировки. На таком расстоянии изменение расходимости пучка будет наибольшим. В последующих экспериментах длина кюветы менялась от 3 до 40 мм.

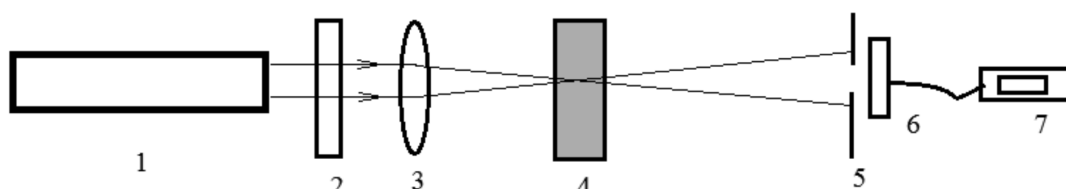


Рис. 2. Экспериментальная установка: 1 – полупроводниковый лазер OMEGA LASER PEN RP50, 2 – коллиматор с электрооптическим модулятором света, 3 – фокусирующая линза, 4 – исследуемый образец, 5 – диафрагма, вырезающая центральную часть пучка, 6 – фотодиод, 7 – цифровой вольтметр

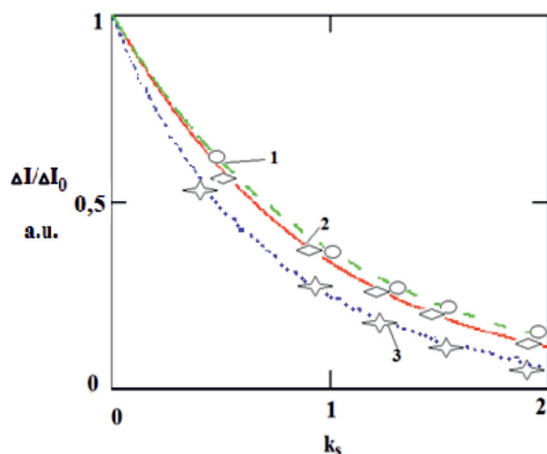


Рис. 3. Зависимость изменения интенсивности света в центре лазерного пучка от показателя рассеяния среды для различных размеров рассеивающих сфер: 1) $d = 0,5$ мкм, 2) $d = 1,2$ мкм, 3) $d = 3$ мкм

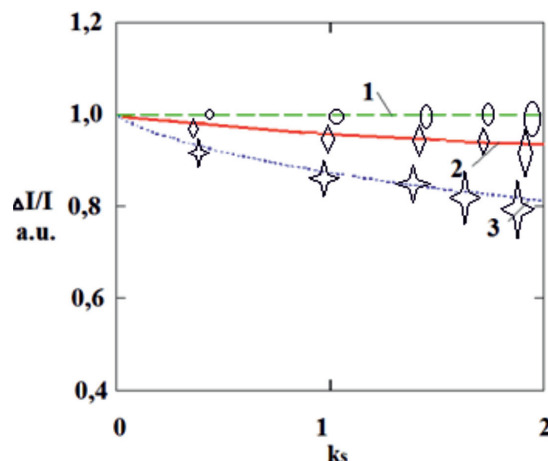


Рис. 4. Относительное изменение интенсивности света в центре лазерного пучка в зависимости от показателя рассеяния среды для различных размеров рассеивающих сфер: 1) $d = 0,5$ мкм, 2) $d = 1,2$ мкм, 3) $d = 3$ мкм.

В качестве рассеивателей использовалась водная гидрозоль с калиброванными полистирольными шариками (для $\lambda = 650$ нм показатель преломления $n = 1,57$, относительный показатель преломления $n_{21} = 1,18$) диаметром $d = 0,5$ мкм, $1,2$ мкм и 3 мкм.

Экспериментальные результаты

На данной установке были проведены измерения зависимости изменения интенсивности в центре лазерного пучка из-за самодефокусировки (сигнала «тепловой линзы») от показателя рассеяния среды для рассеивающих сфер диаметром $0,5$ мкм, $1,2$ мкм и 3 мкм. Результаты измерений и расчеты для данных рассеивателей с учетом их диаграмм направленностей приведены на рис. 3. Для шариков диаметром $0,5$ мкм результаты измерений с вероятностью 99% ложатся на экспоненциальную зависимость ослабления интенсивности (верхняя штриховая линия соответствует рассчитанной зависимости). То есть рассеяние на таких объектах практически не влияет на определение показателя поглощения вещества методом «тепловой линзы».

На рис. 4 это выглядит как неизменное значение относительного изменения интенсивности света в центре пучка. В случае сферических рассеивателей диаметром $1,2$ мкм сигнал уменьшается несколько сильнее (средняя сплошная линия). Относительный сигнал (фактически точность измерения показателя поглощения), как видно из рис. 4, падает, но незначительно. Изменение сравнимо с погрешностью. Для сфер

диаметром 3 мкм получено самое большое изменение сигнала с ростом показателя рассеяния (нижняя пунктирная кривая). Для показателя рассеяния $k_s = 2$ относительный сигнал (точность измерения) уменьшился более чем на 20%. Как следует из расчетов, для более крупных рассеивателей погрешности измерения будут возрастать.

Заключение

В работе изучена возможность применения метода «тепловой линзы» для определения малого показателя поглощения сильно рассеивающей среды, исследована зависимость изменения интенсивности в центре лазерного пучка из-за самодефокусировки при прохождении через слабо поглощающую среду (сигнала «тепловой линзы») от показателя рассеяния и найдена зависимость точности определения показателя поглощения от показателя рассеяния для разных размеров рассеивающих сфер. Экспериментальные значения показали хорошее совпадение с расчетами. Частицы малого размера (порядка длины волны света) рассеивают излучение на большие углы, что приводит только к уменьшению полной мощности пучка. Для такого случая эта методика может быть применена для определения поглощения даже сред с малым поглощением и значительным рассеянием (показатель поглощения $\alpha \sim 10^{-3} \text{ м}^{-1}$, показатель рассеяния $k_s \sim 10^2 \text{ м}^{-1}$). Для частиц большого размера ($d \geq 3$ мкм) погрешность метода может составить 5–10% для $k_s \sim 10 \text{ м}^{-1}$ и 20–40% для $k_s \sim 10^2 \text{ м}^{-1}$.

Список литературы

1. Петропавловский В.М., Топоркова Л.В. Способ стабилизации мощности излучения лазера // Инфокоммуникационные технологии. 2013. № 2. С. 65–68.
2. Петропавловский В.М. Определение показателя поглощения слабопоглощающей жидкости методом «тепловой линзы». // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 8. С. 135–139.
3. Шиганов И.Н., Мельников Д.М., Якимова М.А. Исследование взаимодействия лазерного излучения с рассеивающими жидкими средами в условиях изменения функции распределения взвешенных частиц по размерам // Квант. электрон. 2016. Т. 46. № 9. С. 855–859.
4. Исмару А. распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. В 2-х томах. Т. 1. М.: «Мир», 1981. 280 с.
5. Банах В.А., Герасимова Л.О. Численное моделирование распространения импульсных лазерных пучков // Труды XXIV Всероссийской науч. конф. РРВ-24, 29 июня – 5 июля 2014. Иркутск: ИСЗФ СО РАН Распростр. радиоволн, 2014. С. 127–130.

СТАТЬИ

УДК 544.3

РАСЧЕТ ЭНТАЛЬПИЙ СГОРАНИЯ АМИНОКИСЛОТ И АЗОТИСТЫХ ОСНОВАНИЙ ПО ИХ ЭЛЕМЕНТНОМУ СОСТАВУ И СТРУКТУРЕ

Саралов А.И.

*Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения
Российской академии наук, Пермь, e-mail: saralov@iegm.ru*

Экспериментальные определения энтальпий сгорания ряда чистых биоорганических соединений в калориметрической бомбе с газообразным кислородом сопряжены с рядом технических сложностей и получаемые результаты нередко имеют значительные расхождения. Поэтому при изучении термохимии сгорания биологически важных мономеров особое значение приобретают расчетные методы. В данной работе представлено два эмпирических уравнения расчета значений стандартных энтальпий сгорания (ΔH_C^0): одно для протеиногенных α -аминокислот, другое для моноциклических пиримидиновых и бициклических пуриновых азотистых оснований. Впервые расчет ΔH_C^0 этих важнейших биоорганических мономеров осуществлен лишь на знании их элементного состава и пространственной структуры. В качестве исходного уравнения для вычисления ΔH_C^0 было использовано выражение изменения стандартной свободной энергии при окислительно-восстановительных реакциях $\Delta G^0 = -n \cdot E \cdot \Delta E^0 = -(n \cdot \Delta E^0 \cdot 96,485) \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$, где n – число молей электронов, переносимых в ходе реакции от восстановителя к окислителю; F – число Фарадея, заряд моля электронов в кулонах ($1F = 96485 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$); ΔE^0 – стандартная разность электродных потенциалов (в вольтах), равная +1,229 В при восстановлении кислорода до воды. В заключении указано на структуру и элементный состав α -аминокислот и азотистых оснований в числе детерминирующих физико-химических факторов отбора специфических протобиомономеров при возникновении и поэтапной самоорганизации генетического кода.

Ключевые слова: термохимия, энергия сгорания, энтальпия сгорания, аминокислоты, азотистые основания

CALCULATION OF COMBUSTION ENTHALPIES AMINO ACIDS AND NUCLEOBASES ACCORDING TO THEIR ELEMENT COMPOSITION AND STRUCTURE

Saralov A.I.

*Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Perm, e-mail: saralov@iegm.ru*

Experimental determination of enthalpies of combustion for a number of pure bioorganic compounds in a calorimetric bomb with gaseous oxygen are fraught with a number of technical difficulties and the results obtained have significant differences. Therefore, when studying the thermochemistry of the combustion of biologically important monomers, calculation methods are of particular importance. This paper presents two empirical equations for calculation the values of standard combustion enthalpies (ΔH_C^0), one for proteinogenic amino acids, the other for monocyclic pyrimidine and bicyclic purine nucleobases. For the first time, the ΔH_C^0 calculation of these most important bioorganic monomers was carried out only on the knowledge of their elemental composition and spatial structure. As the initial equation for calculating the ΔH_C^0 , has been used the expression for the change in the standard free energy during redox reactions $\Delta G^0 = -n \cdot E \cdot \Delta E^0 = -(n \cdot \Delta E^0 \cdot 96,485) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, where n is the number of moles of electrons transferred during the reaction from the reducing agent to the oxidizing agent; F is Faraday constant, the charge of a mole of electrons in coulomb, $1F = 96.485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$, ΔE^0 is a standard difference of electrode potentials in volts, equal to 1,229 V when reduction of oxygen to water. The conclusion indicates the structure and elemental composition of amino acids and nucleobases among the determining physical and chemical factors for the selection of specific protobionomers during the origin and phased self-organization of the genetic code.

Keywords: thermochemistry, energy of combustion, enthalpy of combustion, amino acids, nucleobases

Стандартные аминокислоты, входящие в состав белков, и гетероциклические азотсодержащие основания, входящие в состав нуклеиновых кислот, относятся к наиболее значимым компонентам всех живых организмов. Соответствие последовательности нуклеотидов в биополимерах РНК и ДНК с последовательностью аминокислот в биополимерах белка определяет генетический код [1]. При обсуждении проблемы возникновения генетического кода отмечена важность изучения факторов дифферен-

цированного отбора протобиомономеров и особенностей пребиотического синтеза при абиогенезе и начальных биогенных стадиях [2]. В древних гидротермальных системах с CO , CO_2 , H_2 , NH_3 , CH_4 , H_2S и H_2O могли синтезироваться пребиотические молекулы формальдегида и циановодорода, затем из их смесей мог осуществляться абиогенный синтез углеводов, аминокислот и азотистых оснований [3, 4]. Предполагается возможность пребиотического синтеза азотистых оснований при облуче-

нии ультрафиолетом пиримидина и пурина в холодных астрофизических условиях на первобытной Земле и других космических объектах Вселенной [5–7].

В этом плане особый интерес представляет собой изучение термохимии аминокислот и азотистых оснований, взаимосвязи между их структурой и энергетикой. Широко практикуется экспериментальное определение энергии сгорания ряда чистых биоорганических соединений в калориметрической бомбе с газообразным кислородом до CO_2 , H_2O , N_2 и H_2SO_4 [8]. Эти анализы сопряжены с рядом технических сложностей и могут иметь существенные расхождения. Поэтому при изучении термохимии сгорания биологически важных мономеров особое значение приобретают расчетные методы [9–11]. Обычно для приближенных оценок изменения стандартной энтальпии той или иной реакции (ΔH_C^0) используют эмпирические значения энергетических вкладов одинарных и кратных связей атомов, групп атомов в резонансных структурах.

Цель работы: приближенные вычисления значений стандартных энтальпий сгорания протеиногенных аминокислот и азотистых оснований по их элементному составу и пространственной структуре.

Возможность оценки изменений свободной энергии и энтальпии сгорания биохимических соединений на основе их элементного состава

Внутренняя энергия системы может изменяться при совершении работы или в процессе передачи энергии в виде теплоты (ΔH , энтальпия, теплосодержание, тепловая функция Гиббса) [8]. Для характеристики самопроизвольных (необратимых) биохимических процессов, протекающих при постоянных температуре и давлении, принято использовать изменение свободной энергии Гиббса:

$$\Delta G_{T,p} = \Delta H - T \cdot \Delta S,$$

где ΔS – изменение энтропии, T – термодинамическая температура.

При сгорании питательных веществ ΔH обычно значительно больше $T \cdot \Delta S$, поэтому она не очень сильно отличается от ΔG и может служить приближительной мерой совершаемой работы. Число электронов (n_e), участвующих в полном окислении вещества, рассчитывают исходя из числа атомов в молекуле данного вещества (n_C , n_H , n_S , n_O) и соответствующей им валентности [8]:

$$n_e = 4n_C + n_H + 6n_S - 2n_O.$$

Анализ стандартных значений термодинамических величин ΔG_C^0 и ΔH_C^0 позволяет полнее понять сущность структурных единиц соединений (атомов, ядер, электронов), связь атомов друг с другом и взаимодействие групп атомов в молекуле.

В электрохимии изменение свободной энергии Гиббса принято выражать через электродные потенциалы, связанные с переносом электронов через границу между гальваническим электродом и электролитом при прохождении электрического тока [8]. В этом случае используют функциональную связь ΔG^0 со стандартной разностью окислительно-восстановительных потенциалов ΔE^0 (при pH7, 25 °C) сопряженных пар окислитель-восстановитель:

$$\begin{aligned} \Delta G^0 &= -\Delta E^0(B) \cdot n_e \cdot F \text{ (Кл} \cdot \text{моль}^{-1}) = \\ &= -n_e \cdot \Delta E^0 \cdot 96,485 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}, \end{aligned}$$

где F – число Фарадея, n_e – число электронов, переносимых от восстановителя к окислителю.

По шкале электродных потенциалов значение ΔE^0 полуреакции кислород-водород ($\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$) равен +1,229 В. Следовательно, максимальная работа ($-\Delta G^0$), которую может совершить поток электронов во внешней цепи, обусловленной электрохимической реакцией кислород-водород, составляет:

$$\begin{aligned} \Delta G^0 &= -2 \cdot 1,229 \text{ (В)} \cdot 96,485 \text{ (Кл} \cdot \text{моль}^{-1}) = \\ &= -237,16 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}. \end{aligned}$$

С другой стороны, из калориметрических данных стандартная свободная энергия сгорания H_2 (ΔG_C^0) тоже равна –237,2 кДж·моль^{–1}.

Окислительно-восстановительным парам O_2 – H_2O и H^+ – H_2 в биохимическом отношении принадлежит исключительно важная роль [8]. Между ними располагается множество других пар окислительно-восстановительных реакций живой клетки. Учитывая значение электродного потенциала электрохимической реакции кислород-водород (ΔE^0 1,229 В), количественный состав атомов в биологически важных соединениях (n_C , n_H , n_S , n_O) и соответствующие им валентности можно приближенно оценить ΔG_C^0 и теплоту сгорания ΔH_C^0 по следующему эмпирическому уравнению:

$$-96,485 [4n_C + 1,229n_H + 6n_S - 2n_O].$$

При сгорании органических соединений (ОС) происходит перемещение валентных электронов от атомов углерода, водорода и серы к атомам экзогенного газообразно-

го кислорода. При сгорании ОС, богатых атомами кислорода, в калориметрической бомбе будет расходоваться меньше газообразного кислорода и бомба будет меньше выделять в окружающую среду тепла ($-Q_v$). При замещении атомов водорода, связанных с углеродом, атомами кислорода или группами кислородсодержащих атомов ($-\text{CONH}$, $-\text{CHO}$, $-\text{C}=\text{O}$, $-\text{COOH}$) изменяется состав и электронная структура молекулы, и, следовательно, уменьшается теплота сгорания ОС. Поэтому расчет ΔG_C^0 , ΔH_C^0 и количества электронов (n_e), участвующих в полном окислении представителей различных классов кислородных ОС, можно осуществить путем внесения поправки в единственный параметр $\leq -2n_0$.

Расчет ΔH_C^0 протеиногенных аминокислот

Стандартные аминокислоты белков представляют собой карбоновые кислоты с альфа-аминогруппой $-\text{NH}_2$, присоединенной к атому углерода, связанного с карбоксильной группой $-\text{COOH}$. Они различаются между собой структурой «боковых цепей». Определенные α -аминокислоты имеют дополнительную карбоксильную (Asn, Gln) или аминогруппу (Asn, Gln), $-\text{OH}$ или $-\text{SH}$ -группу (Ser, Thr, Tyr, Cys), ароматические (Phe, Tyr) или азотсодержащие гетероциклы (Pro, His, Trp). Из-за различий в элементном составе и электронной структуре α -аминокислот уравнения оценки их ΔH_C^0 отличаются значением поправки в параметре $\leq -2n_0$ (табл. 1).

Уравнения вычисления ΔH_C^0 для 11-ти C_2 – C_5 аминокислот аналогичны таковым для карбоновых кислот и спиртов ($\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$):

$$\Delta H_C^0 = -96,485 [4n_C + 1,229n_H - (2,0 \div 1,6)n_0].$$

В уравнениях оценки ΔH_C^0 для 6-ти C_5 – C_{11} аминокислот с кратными связями (Arg и циклические) параметр $-2n_0$ замещен на $-(1,35 \div 0,25)n_0$. Наиболее существенная поправка ($-0,25n_0$) внесена в уравнение ΔH_C^0 для единственного бициклического наиболее высокомолекулярного триптофана ($\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{O}_2\text{N}_2$). Поэтому число электронов, участвующих в полном окислении Trp в микрокалориметре за счет газообразного кислорода, будет максимальным и достигать $55,5 n_e^*$, превышая соответствующее значение $52,0 n_e$ по литературным данным [8].

Вычисление ΔH_C^0 α -аминокислот можно производить с аналогичной хорошей точностью и по следующему эмпирическому уравнению ($\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$):

$$\Delta H_C^0 = -96,485 [n^* + 0,229n_H].$$

Для большинства протеиногенных аминокислот стандартная энергия сгорания ΔG_C^0 превышает ΔH_C^0 , так как у них изменение энтропии ΔS_C^0 имеет положительное значение и работа по изменению объема окружения незначительна [11, 12]. В этом случае приближенную оценку ΔG_C^0 по эмпирическому уравнению можно произвести путем сокращения значения параметра $\leq -2n_0$ до $-(1,80 \div 1,95)n_0$. Значение ΔH_C^0 существенно превышает ΔG_C^0 (на 2,6–2,8%) лишь у серусодержащих метионина, цистеина и цистина [8, 11, 19]. В этом случае при расчете ΔG_C^0 параметр $-1,7n_0$ (для ΔH_C^0), напротив, следует повысить до $-2n_0$. Значение ΔH_C^0 несколько превышает ΔG_C^0 ($\sim$ на 0,1%) и у C_6 углеводородных аминокислот лейцина и изолейцина ($\text{C}_6\text{H}_{13}\text{O}_2\text{N}$), имеющих отрицательное значение ΔS_C^0 [8–15].

Следует отметить тот факт, что в хронологии появления определенных α -аминокислот в биополимерах белка (от #1Cys до #20Trp) и соответствующим им составом кодонов просматривается определенная согласованность с параметром $\leq -2n_0$ (от $-2n_0$ до $-0,25n_0$) в таблице расчета ΔH_C^0 . В корне кодонов для первых C_2 – C_5 аминокислот (#1, 2, 3, 5, 8, 11, 14) в первой позиции доминирует гуанин (G_1), а во второй позиции аденин (A_2), но отсутствует урацил. Напротив, урацил содержится в первой позиции кодонов (U_1) для C_3 серусодержащей спирто-аминокислоты #19Cys (UG^{UC}), для C_9 и C_{11} циклических аминокислот #17Phe (UU^{UC}), #18Tyr (UA^{UC}), #20Trp (UGG), для неканонических аминокислот C_3 спирто-аминокислоты селеноцистеина #21SeC (UGA) [38], C_{12} пирролизина #22Pyl (UAG) [39] и у стоп-кодонов (UGA, UA_{AG}). Из состава этих однократных и двукратных кодонов с U_1 для #17–22 аминокислот и терминирующих кодонов исключен цитозин [2].

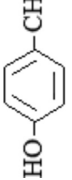
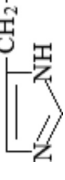
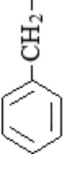
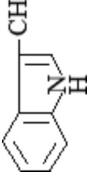
Расчет ΔH_C^0 азотистых оснований

Гетероциклические азотистые основания, входящие в природные нуклеотидные последовательности, построены на основе плоских кольцевых структур шестичленного пиримидина $\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2$ или бициклического пурина $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4$. Главные и минорные азотистые основания различаются наличием (или отсутствием) боковых карбоксильных ($\text{C}=\text{O}$) и/или аминогрупп (NH_2), замещающих в замкнутых циклах атомы водорода. Однако все C_4 шестичленные кольца пиримидинов и C_5 сопряженные шести- и пятичленные (имидазольные) кольца пуринов содержат одну $\text{C}=\text{C}$ связь и по два атома азота в $\text{C}-\text{N}$ и $\text{C}=\text{N}$ связях.

Таблица 1

Экспериментальные и расчётные стандартные значения свободной энергии (ΔG_C^0) и энтальпии (ΔH_C^0) сгорания протеиногенных аминокислот, кДж·моль⁻¹

Аминокислота, кодоны и формула		Литературные данные		Расчётное – ΔH_C^0	Уравнение $\Delta H_C^0 = -96,485 [x]$
		$-\Delta G_C^0$ [8, 11]	$-\Delta H_C^0$ [источник]		
1		2	3	4	5
#1 Gly	GG_{AG}^{UC}				
	$NH_2 - CH_2 - COOH$	1008,3	966,1 [13]; 973,0 [14]; 973,1 [14, 15]; 974,1 [9]; 975,0 [11]; 977,6 [16]	978,8	$4n_C + 1,229n_H - 2n_O$
#2 Ala	GC_{AG}^{UC}	1642,0	1577,0 [13]; 1608,4 [16]; 1621,5 [10, 14]; 1622,9 [20]	1601,9	То же
#3 Asp	GA^{UC}	1690,1	1598,6 [16]; 1599,0 [10]; 1600,4 [17]; 1601,1 [9]	1601,9	То же
#11 Asn	AA^{UC}	1999,7	1906,6 [10]; 1928,5 [22]	1913,5	То же
#5 Glu	GA_{AG}	2314,7	2228,3 [16]; 2248,5 [9]; 2250,5 [18]; 2251,9 [10]	2225,0	То же
#14 Gln	CA_{AG}	2633,1	2558,9 [10]; 2572,3 [23]	2565,5	$4n_C + 1,229n_H - 1,9n_O$
#8 Thr	AC_{AG}^{UC}	2130,3	2053,9 [13]; 2071,9 [10]; 2084,6 [11]; 2101,5 [9]	2061,0	То же
#6 Ser	$UC_{AG}^{UC} + AG^{UC}$	1507,1	1426,0 [10]; 1441,9 [9]; 1446,3 [16]; 1448,2 [21]	1437,9	То же
#19 Cys	UG^{UC}	2178,3	2235,3 [10]; 2248,8 [19]	2238,7	$4n_C + 1,229n_H + 6n_S - 1,7n_O$
Цистин $C_6H_{12}O_4N_2S_2$	$S - CH_2 - CH(NH_2) - COOH$ $S - CH_2 - CH(NH_2) - COOH$	4133,8	4248,0 [11]	4240,3	То же

1		2	3	4	5
Окончание табл. 1					
#4 Val	$\text{GU}_{\text{AG}}^{\text{UC}}$	$\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH}$ $\quad \quad $ $\quad \quad \text{CH}_3 \text{ NH}_2$	2919,9 [10]; 2920,1 [23]; 2922,7 [9]	2925,3	$4n_{\text{C}} + 1,229n_{\text{H}} - 1,6n_{\text{O}}$
#15 Lys	AA_{AG}	$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}-\text{COOH}$ $\quad \quad \quad \quad $ $\quad \quad \quad \quad \text{NH}_2$	3683,2 [9]	3686,3	$4n_{\text{C}} + 1,229n_{\text{H}} - 1,5n_{\text{O}}$
#12 Ile	$\text{AU}_{\text{A}}^{\text{UC}}$	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH}$ $\quad \quad \quad $ $\quad \quad \quad \text{CH}_3 \text{ NH}_2$	3572,1 [10]; 3578,3 [13]; 3583,7 [9]	3577,4	$4n_{\text{C}} + 1,229n_{\text{H}} - 1,45n_{\text{O}}$
#9 Leu	$\text{CU}_{\text{AG}}^{\text{UC}} + \text{UU}_{\text{AG}}$	$\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH}$ $\quad \quad $ $\quad \quad \text{CH}_3 \text{ NH}_2$	3569,3 [23]; 3572,7 [10]; 3578,4 [9]; 3581,5 [15]	3577,4	То же
#7 Pro	$\text{CC}_{\text{AG}}^{\text{UC}}$		2727,8 [10]; 2738,6 [24]; 2746,2 [25]	2736,4	$4n_{\text{C}} + 1,229n_{\text{H}} - 1,35n_{\text{O}}$
#10 Arg	$\text{CG}_{\text{AG}}^{\text{UC}} + \text{AG}_{\text{AG}}$	$\text{H}_2\text{N}-\text{C}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}-\text{COOH}$ $\quad \quad $ $\quad \quad \text{NH} \text{ NH}_2$	3724,2 [16]; 3738,3 [15]; 3740,7 [10]	3734,5	$4n_{\text{C}} + 1,229n_{\text{H}} - 1,25n_{\text{O}}$
#18 Tyr	UA^{UC}		4413,3 [10]; 4419,8 [16]; 4428,1 [15]	4416,0	То же
#13 His	CA^{UC}		3180,6 [26]; 3195,6 [27]; 3205,5 [25]; 3212,0 [16]; 3220,3 [10]	3209,2	$4n_{\text{C}} + 1,229n_{\text{H}} - 0,9n_{\text{O}}$
#17 Phe	UU^{UC}		4627,3 [10]; 4637,5 [16]; 4646,3 [13]	4642,8	$4n_{\text{C}} + 1,229n_{\text{H}} - 0,7n_{\text{O}}$
#20 Trp	UGG		5615,7 [10]; 5628,3 [17]; 5629,6 [13]	5620,1	$4n_{\text{C}} + 1,229n_{\text{H}} - 0,25n_{\text{O}}$

Согласно теории резонанса, циклические молекулы ароматических и азотистых оснований описывают как суперпозицию (наложение) двух и более валентных структур, эквивалентных, но с обратным наложением одинарной и двойной связи [8, 12]. Переход одной резонансной формы в другую сопровождается перераспределением валентных электронов, но все ядра элементов остаются на прежних местах. Кольцевые молекулы с гибридными электронными структурами приобретают дополнительную стабилизирующую энергию резонанса и, следовательно, пониженную химическую реакционную способность.

Природные пуриновые и пиримидиновые основания с заместителями существуют в виде смеси двух и более изомеров, таутомерных форм, быстро переходящих одна в другую (табл. 2). В паре таутомеров один из атомов водорода легко переходит из одного положения в другое, что сопровождается изменением длин и характера других связей [1, 8]. Переходы атомов водорода осуществляются через замещающие боковые карбонильные и аминные группы. В молекулах аденина и цитозина таутомерное равновесие устанавливается между amino- и иминоформами, в гуанине, урациле и тимине – между кетонольными формами. В составе нуклеозидов основания существуют фактически в более устойчивых кето- и аминноформах. Тем самым у азотистых оснований с замещающими группами между резонансной стабилизацией и таутомерной диссоциацией атома водорода просматривается тесная структурная и функциональная связь.

При расчете теплоты сгорания гетероциклических оснований по их элементному составу и пространственной структуре необходимо учитывать число перемещаемых валентных электронов от атомов углерода и водорода к атомам газообразного кислорода, а также количество двойных связей $C=N$ и $C=C$ в резонансных структурах. Во всех таутомерных кислородсодержащих основаниях, существующих преимущественно в кетоформах с $C=O$ группами, число перемещаемых к экзогенному молекулярному кислороду электронов целесообразно уменьшить на одинаковую величину $-2n_o$.

Значение ΔH_C^0 при сгорании азотистых оснований можно рассчитать с хорошей точностью по следующему эмпирическому уравнению (кДж·моль⁻¹):

$$\Delta H_C^0 = -96,485 [4n_c + 1,229n_H + 3\frac{n^*}{n_H} - 2,0n_o],$$

где дополнительный параметр $3\frac{n^*}{n_H}$ учитывает общее количество кратных связей

$C=N$ и $C=C$ в резонансной структуре (n^*) и валентность атомов азота по отношению к содержанию атомов водорода в соединении (n_H). Для бициклических пуриновых оснований, не содержащих атомов кислорода (пурин и аденин), $-2n_o = 0$ и $n^* = 4,2$ ($3\frac{n^*}{n_H} = 3,15 - 2,52$), но для мочевой кислоты $C_5H_4O_3N_4$ с наибольшим количеством атомов кислорода значение $-2n_o = -6$ и $n^* = 1,3$ ($3\frac{n^*}{n_H} = 0,98$). При этом расчетное

ΔH_C^0 отличается от средних экспериментальных значений [29–32] на 0,02–0,28%. Также для главных моноциклических кислородсодержащих пиримидиновых оснований расчетное ΔH_C^0 отличается от средних экспериментальных значений [26, 33–37] на 0,03–0,17% (табл. 2). Для цитотоксического вещества аллоксана $C_4H_2O_4N_2$ с максимально допустимым содержанием атомов кислорода у пиримидиновых таутомеров значение $-2n_o = -8$ и $n^* = 1,0$ ($3\frac{n^*}{n_H} = 1,2$) разность между расчетным ΔH_C^0 и единственным экспериментально установленным значением [31] составила 0,80%.

Заключение

В данной работе обосновывается новый методологический подход расчета значений стандартных энтальпий сгорания (ΔH_C^0) протеиногенных аминокислот и азотистых оснований, учитывающий различия в их элементном составе и структурной организации.

Протеиногенные аминокислоты являются карбоновыми кислотами с альфа-аминогруппой $-NH_2$, связанной через атом углерода с карбоксильной группой $-COOH$, отличаются друг от друга структурой боковых групп. Предложено эмпирическое уравнение прямого расчета энтальпий сгорания α -аминокислот (кДж·моль⁻¹):

$$\Delta H_C^0 = -96,485 [4n_c + 1,229n_H + 6n_s - 2n_o],$$

где учтено число Фарадея $1F = 96485 \text{ Кл} \times \text{моль}^{-1}$ (заряд электрона, помноженный на число Авогадро); число атомов в молекуле (n_c, n_H, n_s, n_o) и соответствующие им валентности; сомножитель 1,229 при n_H отражает поправку на значение электродного потенциала электрохимической реакции кислород-водород ($\Delta E^0 1,229 \text{ В}$). Здесь сохранена форма записи основных составных частей уравнения расчета ΔH_C^0 , варьирует лишь параметр $-2n_o$ (от $-2n_o$ до $-0,25n_o$), уменьшаясь по мере усложнения строения боковых групп α -аминокислот.

Таблица 2

Экспериментальные и расчётные значения стандартной энтальпии сгорания азотистых оснований, кДж·моль⁻¹

Соединение и формула		Опытное –ΔH _C ⁰ [источник]	Рас- чётное значение	Уравнение ΔH _C ⁰ = –96,485 [x]
1		2	3	4
Пурин C ₅ H ₄ N ₄		2708,6 [29]	2708,0	$4n_C + 1,229n_H + 3\frac{n^*}{n_H}$, $n^* = n_C = C, N = C = 4,2$
Аденин C ₅ H ₅ N ₅		2764,9 [32]; 2777,1 [31]; 2779,0 [30]	2765,7	То же
Гуанин C ₅ H ₅ ON ₅		2497,4 [31]	2503,3	$4n_C + 1,229n_H + 3\frac{n^*}{n_H} - 2n_O$, $n^* = 3,0$
Гипок- сантин C ₅ H ₄ ON ₄		2427,6 [31]	2428,1	То же
Ксантин C ₅ H ₄ O ₂ N ₄		2159,0 [31]	2162,8	То же, $n^* = 2,0$
1		2	3	4
Мочевая кислота C ₅ H ₄ O ₃ N ₄		1919,8 [31]	1919,2	То же, $n^* = 1,3$
Цитозин C ₄ H ₅ ON ₃		2053,2 [34]; 2064,8 [33]; 2066,7 [35]; 2067,3 [26]	2059,5	То же, $n^* = 2,0$
Урацил C ₄ H ₄ O ₂ N ₂		1715,2 [36]; 1716,3 [33]; 1721,3 [26]	1719,0	То же, $n^* = 1,2$
Тимин (5-Мети- лурацил) C ₅ H ₆ O ₂ N ₂		2359,3 [36]; 2359,8 [33]; 2367,3 [35]; 2371,2 [37]	2363,8	То же, $n^* = 1,5$
Аллоксан C ₄ H ₂ O ₄ N ₂		1144,7 [31]	1153,8	То же, $n^* = 1,0$

Главные и минорные моноциклические пиримидиновые и бициклические пуриновые основания характеризуются наличием одной С=С связи, двух атомов азота в каждом цикле в составе ковалентных одинарной С–N и двойной С=N связей, участву-

ющих в перераспределении валентных электронов при переходе одной резонансной формы в другую. Гибридные электронные структуры придают кольцевым молекулам дополнительную стабилизирующую энергию резонанса. С другой стороны, бла-

годаря наличию замещающих боковых карбонильных C=O и/или аминных NH₂ групп природные азотистые основания существуют в виде смеси таутомерных форм. В паре таутомеров атом водорода способен переходить из одного положения в другое. В составе нуклеозидов основания существуют преимущественно в более устойчивых кето- и аминформах. У азотистых оснований таутомерия и резонанс взаимосвязаны. Для расчета их энтальпий сгорания предложено иное эмпирическое уравнение (кДж·моль⁻¹):

$$\Delta H_C^0 = -96,485 [4n_C + 1,229n_H + 3\frac{n^*}{n_H} - 2,0n_O],$$

где для таутомеров с C=O группами число перемещаемых к газообразному кислороду электронов уменьшается на одинаковую величину $-2n_O$; дополнительный параметр

$3\frac{n^*}{n_H}$ учитывает валентность атомов азота

и общее количество кратных связей C=N и C=C (n^*) в резонансной структуре по отношению к содержанию атомов водорода в соединении (n_H). Здесь в уравнении расчета ΔH_C^0 азотистых оснований нет варьирующих параметров, сохранена форма записи всех его составных частей.

При изучении проблемы происхождения генетического кода при абиогенезе и начальных биогенных стадиях рассматривают комплекс связанных друг с другом физико-химических свойств, позволивших отобрать из хаотического многообразия органических соединений «первичного бульона» минимальное число протобиомономеров: 5 главных азотистых оснований, 20 протеиногенных аминокислот, несколько моносахаридов и жирных кислот [40, 41]. Ранее мною впервые было указано на температуру плавления протобиомономеров среди детерминирующих факторов их отбора при возникновении и поэтапной самоорганизации генетического кода [2]. Учитывая возможность вычисления ΔH_C^0 протеиногенных аминокислот и азотистых оснований по их элементному составу и структурной организации, представляется вполне оправданным предположение, что при эволюционном отборе протобиомономеров в протоклетках реализовалась и возможность биогенных элементов влиять на их структуру и физико-химические свойства.

Работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер НИОКТРАААА-А19-11911229009-1.

Список литературы

1. Нуклеиновые кислоты: от А до Я. Под ред. С. Мюллер. М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 413 с.
2. Саралов А.И. Факторы отбора протобиомономеров при возникновении генетического кода // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10. Часть 2. С. 243–249. DOI: 10.17513/mjpf.12900.
3. La Rowe D.E., Regnier P. Thermodynamic potential for the abiotic synthesis of adenine, cytosine, guanine, thymine, uracil, ribose, and deoxyribose in hydrothermal systems. Orig. Life Evol. Biosph. 2008. Vol. 38. No. 5. P. 383–397. DOI: 10.1007/s11084-008-9137-2.
4. Kitadai N. Energetics of amino acid synthesis in alkaline hydrothermal environments. Orig. Life Evol. Biosph. 2015. Vol. 45. No. 4. P. 377–409. DOI: 10.1007/s11084-015-9428-3.
5. Materese C.K., Nuevo M., Bera P.P., Lee T.J., Sandford S.A. Thymine and other prebiotic molecules produced from the ultraviolet photo-irradiation of pyrimidine in simple astrophysical ice analogs. Astrobiology. 2013. Vol. 13. No. 10. P. 948–962. DOI: 10.1089/ast.2013.1044.
6. Bera P.P., Nuevo M., Materese C.K., Sandford S.A., Lee T.J. Mechanisms for the formation of thymine under astrophysical conditions and implications for the origin of life. J. Chem. Phys. 2016. Vol. 144. 144308. DOI: 10.1063/1.4945745.
7. Matherese C.K., Nuevo M., Sandford S.A. The formation of nucleobases from the ultraviolet photoirradiation of purine in simple astrophysical ice analogues // Astrobiology. 2017. Vol. 17. No. 8. P. 761–770. DOI: 10.1089/ast.2016.
8. Мейслер Д. Биохимия: Химические реакции в живой клетке. Том 1. М: Мир, 1980. 407 с.
9. Васильев В.П., Бородин В.А., Копнышев С.Б. Расчет стандартных энтальпий сгорания и образования кристаллических органических кислот и компонентов по энергетическим вкладам атомных групп // Журнал физической химии. 1991. Т. 65. № 1. С. 55–62.
10. Сагадеев Е.В., Гимадеев А.А., Барабанов В.П. Энтальпии сгорания L-α-аминокислот // Журнал физической химии. 2011. Т. 85. № 12. С. 2227–2230.
11. Ovchinnikov V.V. Thermochemistry of heteroatomic compounds: analysis and calculation of thermodynamic functions of amino acids and some peptides of different space structure. Am. J. Phys. Chem. 2013. Vol. 1. No. 1. P. 8–15. DOI: 10.11648/j.ajpc.20130201.12.
12. National Center for Biotechnology information. PubChem compound database. 2019. [Electronic resource]. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound> (date of access: 10.12.2019).
13. Tsuzuki T., Harper D.O., Hunt H. Heats of combustion. VII. The heats of combustion of some amino acids. J. Phys. Chem. 1958. Vol. 62. No. 12. P. 1594–1595. DOI: 10.1021/j150570a032.
14. Ngauv S.N., Sabbah R., Laffitte M. Thermodynamique de composés azotés. III. Etude thermochimique de la glycine et de la L-α-alanine. Thermochim. Acta. 1977. Vol. 20. No. 3. P. 371–380. DOI: 10.1016/0040-6031(77)85091-0.
15. Huffman H.M., Fox S.W., Ellis E.L. Thermal data. VII. The heats of combustion of seven amino acids. J. Am. Chem. Soc. 1937. Vol. 59. No. 11. P. 2144–2150. DOI: 10.1021/ja01290a018.
16. Yang X.W., Liu J.R., Gao S.L., Hou Y.D., Shi Q.Z. Determination of combustion energies of thirteen amino acids. Thermochim. Acta. 1999. Vol. 329. No. 2. P. 109–115. DOI: 10.1016/S0040-6031(99)00002-7.
17. Cox J.P., Pilcher G. Thermochemistry of organic and organometallic compounds. London: Academic Press, 1970. P. 500–510.
18. Sakiyama M., Seki S. Enthalpies of combustion of organic compounds. II. L- and D-glutamic acid. Bull. Chem. Soc. Japan. 1975. Vol. 48. P. 2203–2204. DOI: 10.1246/bcsj.48.2203.
19. Sabbah R., Minadakis C. Thermodynamique de substances soufrées. II. Etude thermochimique de la L-cysteine et de la L-méthionine. Thermochim. Acta. 1981. Vol. 43. No. 3. P. 269–277. DOI: 10.1016/0040-6031(81)85184-2.

20. Skoulika S., Sabbah R. Thermodynamique de composés azotés. X. Etude thermochimique de quelques acides ω -amines. *Thermochim. Acta*. 1983. Vol. 61. No. 1–2. P. 203–214. DOI: 10.1016/0040-6031(83)80316-5.
21. Sabbah R., Laffitte M. The enthalpy of formation of L-serine in solid state. *Thermochim. Acta*. 1978. Vol. 23. No. 1. P. 192–195. DOI: 10.1016/0040-6031(78)85127-2.
22. Huffman H.M., Ellis E.L., Fox S.W. Thermal data. VI. The heats of combustion and free energies of seven organic compounds containing nitrogen. *J. Am. Chem. Soc.* 1936. Vol. 58. No. 9. P. 1728–1733. DOI: 10.1021/ja01300a066.
23. Tsuzuki T., Hunt H. Heats of combustion. VI. The heats of combustion of some amino acids. *J. Phys. Chem.* 1957. Vol. 61. No. 12. P. 1668. DOI: 10.1021/j150558a026.
24. Sabbah R., Laffitte M. Thermodynamique de composés azotés. Etude thermochimique de la sarcosine et de la L-proline. *Bull. Soc. Chim. France*. 1978. Part 1. No. 1–2. P. 50–52.
25. Васильев В.П., Бородин В.А., Копнышев С.Б. Стандартные энтальпии образования L-гистидина и L-пролина // *Журнал физической химии*. 1989. Т. 53. № 5. С. 134–1344.
26. Wilson S.R., Watson I.D., Malcolm G.N. Enthalpies of formation of solid cytosine, L-histidine, and uracil. *J. Chem. Thermodyn.* 1979. Vol. 11. No. 9. P. 911–912. DOI: 10.1016/0021-9614(79)90073-9.
27. Neacsu A., Gheorghe D., Contineanu I., Sofronia A.M., Teodorescu F., Perisanu S. Enthalpies of combustion and formation of histidine stereoisomers. *J. Chem.* 2018. Article ID 7801381. P. 1–6. DOI: 10.1155/2018/7801381.
28. Gupta M., Svendsen H.F. Understanding carbamate formation reaction thermochemistry of amino acids as solvents for postcombustion CO₂ capture. *J. Phys. Chem. B*. 2019. Vol. 123. No. 40. P. 8433–8447. DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b06447.
29. Kirklin D.R., Domalski E.S. Enthalpy of combustion of purine. *J. Chem. Thermodyn.* 1984. Vol. 16. No. 7. P. 633–641. DOI: 10.1016/0021-9614(84)90043-0.
30. Kirklin D.R., Domalski E.S. Enthalpy of combustion of adenine. *J. Chem. Thermodyn.* 1983. Vol. 15. No. 10. P. 941–947. DOI: 10.1016/0021-9614(83)90127-1.
31. Stiehler R.D., Huffman H.M. Thermal Data. IV. The heats of combustion of adenine, hypoxanthine, guanine, xanthine, uric acid, allantoin and alloxan. *J. Am. Chem. Soc.* 1935. Vol. 57. No. 9. P. 173–1740. DOI: 10.1021/ja01312a071.
32. Emel'yanenko V.N., Zaitsau D.H., Shoifet E., Meurer F., Verevkin S.P., Schick C., Held C. Benchmark thermochemistry for biologically relevant adenine and cytosine. A combined experimental and theoretical study. *J. Phys. Chem. A*. 2015. Vol. 119. No. 37. P. 9680–9691. DOI: 10.1021/acs.jpca.5b04753.
33. Emel'yanenko V.N., Verevkin S.P., Notario R. Thermochemistry of uracil and thymine revisited. *J. Chem. Thermodyn.* 2015. Vol. 87. P. 129–135. DOI: 10.1016/j.jct.2015.03.015.
34. Sabbah R. Thermodynamique de composés azotés. V. Etude thermochimique de la cytosine. *Thermochim. Acta*. 1980. Vol. 35. No. 1. P. 73–77. DOI: 10.1016/0040-6031(80)85023-4.
35. Ganyecz A., Kallay M., Csontos J. Thermochemistry of uracil, thymine, cytosine, and adenine. *J. Phys. Chem. A*. 2019. Vol. 123. No. 18. P. 4057–4067. DOI: 10.1021/acs.jpca.9b02061.
36. Achraimer F., Emel'yanenko V.N., Tantawy W., Verevkin S.P., Zipse H. Transfer hydrogenation as a redox process in nucleotides. *J. Phys. Chem. B*. 2014. Vol. 118. No. 35. P. 10426–10429. DOI: 10.1021/jp507855k.
37. da Silva M.A.R., Amaral L.M., Szterner P. Thermochemical study of 5-methyluracil, 6-methyluracil, and 5-nitrouracil. *J. Chem. Thermodyn.* 2011. Vol. 43. No. 12. P. 1924–1927. DOI: 10.1016/j.jct.2011.06.023.
38. Hohn M.J., Paloura S., Su D., Yuan J., Söll D., Genetic analysis of selenocysteine biosynthesis in the archaeon *Methanococcus maripalidus*. *Molecular Microbiol.* 2011. Vol. 81. No. 1. P. 249–258. DOI: 10.1111/j.1365-2958.2011.07690.x.
39. Gaston M.A., Zhang L., Green-Church K.B., Krzycki J.A. The complete biosynthesis of the genetically encoded amino acid pyrrolysine from lysine. *Nature*. 2011. Vol. 471. No. 7340. P. 647–650. DOI: 10.1038/nature09918.
40. Koonin E.V., Novozhilov A.S. Origin and evolution of the universal genetic code. *Annu. Rev. Genet.* 2017. Vol. 51. No. 1. P. 45–62. DOI: 10.1146/annurev-genet-120116-024713.
41. Kun A., Radványi A. The evolution of the genetic code: impasses and challenges. *Biosystems*. 2018. Vol. 164. P. 217–225. DOI: 10.1016/j.biosystems.2017.10.006.