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 = 0,580

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,286

№ 1 2021

Научный журнал

Scientific journal

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

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

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

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

EDITOR
Natalia Stukova
Senior Director and Publisher
Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.
Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,580.
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,286.

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

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес редакции и издателя: 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, Н.А. Дудкина

Подписано в печать – 29.01.2021
Дата выхода номера – 28.02.2021

Формат 60x90 1/8
Типография
ООО НИЦ «Академия Естествознания»
410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 6,25
Тираж 500 экз.
Заказ МЖПиФИ 2021/1

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИСТЬЕВ *BOLBOSCHOENUS MARITIMUS* (L.) PALLA В ПРИМОРСКИХ СООБЩЕСТВАХ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Морозова К.В., Алексеева М.С. 5

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ОСОБЕННОСТИ ДОШКОЛЬНОГО АУДИОЛОГИЧЕСКОГО СКРИНИНГА

Мусаев А.А., Абдукаюмов А.А., Наджимутдинова Н.Ш. 10

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ ТОЛСТОЙ КИШКИ ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ ТИПА ГАРТМАНА: СЛОЖНОСТИ И ИХ РЕШЕНИЕ

Томнюк Н.Д., Ховалыг В.С., Мунин А.М., Данилина Е.П., Кембель В.Р., Адилов М.М. 15

ОБЗОРЫ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МАЛОИНВАЗИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖЕЛЧНОГО ПУЗЫРЯ И ЖЕЛЧЕВЫВОДЯЩИХ ПУТЕЙ

Шалин В.В., Маркосьян С.А., Теричев А.Е., Гечас А.А., Тетюшкин Н.С. 19

ФАКТОРЫ РИСКА И МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕПАТОБЛАСТОМЫ

Щеголев А.И., Туманова У.Н. 24

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ПОВЕДЕНИЕ NO_x ПРИ ОЧИСТКЕ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЭС КАРБОНАТНЫМ РАСПЛАВОМ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Досмухамедов Н.К., Егизеков М.Г., Жолдасбай Е.Е., Курмансеитов М.Б., Аргын А.А. 30

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RFID-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УДАЛЕННОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ

Зиннуров Р.Р., Розенцвайг А.К., Исавнин А.И., Карамышев А.Н., Еремина И.И. 35

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ВЛИЯНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ФАЗОВЫХ СРЕД НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОСКОСТЕЙ САМОРЕПРОДУКЦИЙ ЛИНЕЙНОЙ РЕШЕТКИ

Алымкулов С.А., Исманов Ю.Х., Жумалиев К.М. 41

БИСЕРНЫЕ МОЛНИИ КАК СТОХАСТИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ И ДИНАМИКА ВИХРЕЙ

Ижовкина Н.И., Артеха С.Н., Ерохин Н.С., Михайловская Л.А. 46

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLES

MORPHOLOGICAL AND ANATOMICAL FEATURES OF LEAVES *BOLBOSCHOENUS MARITIMUS* (L.) PALLA IN COASTAL COMMUNITIES OF THE WHITE SEA (REPUBLIC OF KARELIA)

Morozova K.V., Alekseeva M.S. 5

MEDICAL SCIENCES

ARTICLES

FEATURES OF PRESCHOOL AUDIOLOGICAL SCREENING

Musaev A.A., Abdukayumov A.A., Nadzhimutdinova N.Sh. 10

RESTORATION OF THE CONTINUITY OF THE COLON AFTER HARTMAN TYPE OPERATION: DIFFICULTIES AND THEIR SOLUTION

Tomnuyk N.D., Khovalyg V.S., Munin A.M., Danilina E.P., Kembel V.R., Adilov M.M. 15

REVIEWS

MODERN METHODS OF LOW INVASIVE TREATMENT OF DISEASES OF THE GALL BLADDER AND BILIARY TRACT

ShalinV.V., Markosyan S.A., Terichev A.E., Gechas A.A., Tetyushkin N.S. 19

RISK FACTORS AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HEPATOBLASTOMA

Shchegolev A.I., Tumanova U.N. 24

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

BEHAVIOR OF NOX DURING PURIFICATION OF EXHAUST GASES OF TPP CARBONATE MELT OF ALKALINE METALS

Dosmukhamedov N.K., Egizekov M.G., Zholdasbay E.E., Kurmanseitov M.B., Argyn A.A. 30

USING RFID-TECHNOLOGY FOR REMOTE TRACKING OF THE MANUFACTURING PROCESS

Zinnurov R.R., Rozentsvaig A.K., Isavnin A.G., Karamyshev A.N., Yeremina I.I. 35

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ARTICLES

INFLUENCE OF THE SIMPLE PHASE MEDIA ON THE DISTRIBUTION OF THE SELF-REPRODUCTION PLANES OF A LINEAR GRATING

Alymkulov S.A., Ismanov Yu.Kh., Zhumaliev K.M. 41

BEAD LIGHTNING AS STOCHASTIC STRUCTURES OF ELECTROSTATIC DISTURBANCES AND VORTEX DYNAMICS

Izhovkina N.I., Artekha S.N., Erokhin N.S., Mikhaylovskaya L.A. 46

СТАТЬИ

УДК 581.45:581.84:582.52(268.46)

МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИСТЬЕВ *BOLBOSCHOENUS MARITIMUS* (L.) PALLA В ПРИМОРСКИХ СООБЩЕСТВАХ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Морозова К.В., Алексеева М.С.

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, e-mail: mkv25@bk.ru

В статье представлены результаты морфолого-анатомического исследования листьев *Bolboschoenus maritimus*, который произрастает в разных условиях обитания на Поморском берегу Белого моря в Карелии. На берегу моря в окрестностях поселка Колежма заложена трансекта от зоны штормовых выбросов (супралитораль) до нижней границы максимального отлива (литораль). *B. maritimus* обитает на супралиторали, и его надземная часть не заливается морской водой, и в верхнем горизонте литорали, где во время прилива растения наполовину заливаются морской водой. Площадь листьев у *B. maritimus* в разных условиях обитания на морском побережье достоверно не отличается. У вида амфистоматический лист с изолатеральным типом строения мезофилла, с элементами аэренхимы, склеренхимы и особыми моторными клетками, характерными для видов семейства *Cyperaceae*. В контрастных условиях обитания на приливно-отливной зоне побережья листья у вида отличаются увеличением толщины, переходом к мелкоклеточности мезофилла и увеличением количества его клеток, повышением числа устьиц и хлоропластов. У *B. maritimus* определены ксероморфные и галоморфные признаки анатомической структуры листа, которые позволяют изучаемому виду адаптироваться к водному дефициту, повышенной инсоляции, периодическому затоплению на литорали морского побережья.

Ключевые слова: *Bolboschoenus maritimus*, супралитораль, литораль, Белое море, площадь листа, анатомическая структура листа

MORPHOLOGICAL AND ANATOMICAL FEATURES OF LEAVES *BOLBOSCHOENUS MARITIMUS* (L.) PALLA IN COASTAL COMMUNITIES OF THE WHITE SEA (REPUBLIC OF KARELIA)

Morozova K.V., Alekseeva M.S.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: mkv25@bk.ru

The article presents results of morphological and anatomical studies of the leaves of *Bolboschoenus maritimus* growing in different habitat conditions on the coast of the White Sea in Republic of Karelia. Near the village of Kolezhma on the seacoast transect was established from the coastline of the maximum storm emissions (supralittoral) to the lower limit of the maximum low tide (littoral). *B. maritimus* grows on the supralittoral where its aboveground part is not flooded with sea water. Moreover, this plant species occurs in the upper horizon of the littoral where the it is half flooded with sea water at high tide. The leaf area of *B. maritimus* did not differ significantly in various habitat conditions on the sea coast. The species has amphistomatic leaf with an isolateral type of mesophyll structure, with elements of aerenchyma, sclerenchyma and special motor cells which are characteristic of *Cyperaceae* species. In contrasting habitats of the tidal area on the coast the mesophyll has the small cell and the following leaves parameters increase: thickness, the number of mesophyll cells, stomata and chloroplasts. Xeromorphic and halomorphic features of the anatomical structure of the leaf were determined for *B. maritimus*. These features allow to adapt of studied species to water deficiency, high insolation, and periodic flooding on the littoral of the sea coast.

Keywords: *Bolboschoenus maritimus*, supralittoral, littoral, White Sea, leaf area, anatomic structure of leaf

Белое море – это полуизолированный внутриконтинентальный водоем, который соединяется с Баренцевым морем и представляет часть Северного Ледовитого океана [1]. Белое море относится к приливным морям и характеризуется значительными колебаниями уровня воды за счет приливно-отливной динамики. Растения, обитающие на литорали, заливаются водой и освобождаются от нее 2 раза в сутки, т.е. происходит смена водной и воздушной сред. Эта смена сред сопровождается изменением освещенности, температуры, давления, концентрации кислорода и других климатических параметров [2]. Данные условия привели к формированию галофитного комплекса высших наземных растений, устойчивых к резкой смене экологических условий обитания за счет изменения анатомических структур вегетативных органов, изменения их морфологии и приспособлений на уровне физиологических процессов, которые связаны с поддержанием фотосинтеза, водного режима, устойчивостью к недостатку освещенности, кислорода и углекислого газа.

Клубнекамыш морской (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla) произрастает в при-

морских сообществах на побережье Белого моря. Ареал и биологию *B. maritimus* изучали многие исследователи [3, 4], при этом работы по анатомии вегетативных органов носят описательный характер без определения количественных показателей анатомической структуры [5, 6]. По данным литературы [7–9] именно количественные показатели устьичного и ассимиляционного аппаратов листа изменяются в разных условиях обитания видов. Цель исследования – изучить морфолого-анатомические особенности листьев *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, произрастающего в разных условиях обитания в приморских сообществах на побережье Белого моря.

Материалы и методы исследования

B. maritimus – это многолетнее травянистое растение с ползучим узловатым корневищем и с шаровидными клубнелуковицами из семейства Осоковые (*Cyperaceae*). Данный вид предпочитает увлажненные почвы, расселяется по берегам рек, озер, встречается на болотах, затопленных территориях и на морском побережье [1, 3]. Относится к группе факультативных галофитов, которые произрастают на засоленных территориях за счет устойчивости к повышенному содержанию солей, но при этом увеличение солености не влияет на их рост и развитие.

Исследование проводили в окрестностях пос. Колежма (64 °22'81"N 35 °93'14"E) на Поморском берегу Белого моря в Карелии. На берегу моря вблизи поселка была заложена трансекта шириной 10 м и длиной от зоны штормовых выбросов (супралитораль) до нижней границы максимального отлива (литораль). Литораль – это приливно-отливная зона (осушка) или экологическая зона морского дна, затопляемая во время прилива и осушаемая при отливе. Супралитораль – это участок суши, примыкающий к литорали, куда морская вода попадает во время ветровых нагонов, штормов в виде брызг или просачивается через грунт [1]. Субстрат в местах проведения исследования представляет собой маршевые примитивные слабо дерновые почвы. В приливно-отливной зоне отмечены монодоминантные сообщества *B. maritimus*. На супралиторали исследуемый вид произрастает вместе с *Triglochin maritima* L., *Plantago maritima* L., *Tripolium pannonicum* (Jacg.) Dobrocz., видами рода *Carex* L., видами семейства *Poaceae*. Листья собраны у растений *B. maritimus*, обитающих на супралиторали, где их надземная часть не заливается морской водой, и в верхнем горизонте литорали, где во время прилива растения наполовину заливаются морской водой (высота водного столба над субстратом достигала 60 см).

Для выполнения исследования в разных условиях обитания отбиралось по 10 хорошо развитых и хорошо освещенных растений. Из средней части стебля каждого растения взято по 5 листьев для фиксации в 70 % этаноле. Площадь определяли у 10 листьев разных растений из каждого из двух мест обитания вида по формуле: $S = a*b$, где a – длина листа, b – ширина листа. Анатомическую структуру листовых пластинок изучали на временных препаратах, делая поперечные срезы, при помощи светового микроскопа МИКМЕД-6 (ЛОМО, Россия) с увеличением окуляра 4х, 10х, 40х. Измерения параметров (толщина листьев, размеры устьиц, размеры клеток тканей) проводили окуляр-микрометром.

Определение количественных показателей мезоструктуры листа выполняли по методике А.Т. Мокроносова и Р.А. Борзенковой [10]. На продольных парадермальных срезах листьев подсчитывали число устьиц в 1 мм² поверхности листа, измеряли их размеры и рассчитывали их площадь (мкм²) по формуле: $Sус = \pi*(L/2)*(d/2)$, где L – длина устьица, d – ширина устьица. Толщину листьев, параметры устьиц определяли в 50-кратной повторности для растений из каждого исследованного местообитания.

В суспензии после мацерации клеток подсчитывали число клеток тканей (тыс./см²) с помощью камеры Горяева и число хлоропластов (шт.) [10]. Расчет числа клеток выполняли по формуле: $n = N*V*250/x*S$, где n – число клеток в единице площади листа (тыс./см²); N – число клеток в x больших квадратов камеры (шт.); V – объем суспензии (мл) после мацерации; S – площадь листа, которая взята для приготовления суспензии (см²). Объем клетки (тыс. мкм^3) палисадного мезофилла, моторной клетки вычисляли по линейным размерам клетки по формуле цилиндра с поправочным коэффициентом k: $k = 0{,}38 + 0{,}117*L/d$, $V = 1/4*\pi*d^2*L*k$, где V – объем клетки, L – длина клетки, d – ширина клетки. Объем клетки губчатого мезофилла, аэренхимы определяли по формуле эллипсоида, так как соотношение L/d менее 2.5: $V = 4/3\pi*L/2*(d/2)^2$, где L – длина клетки, d – ширина клетки. Объем клетки, соответствующий одному хлоропласту (мкм^3) или клеточный объем хлоропласта (КОХ) рассчитывали по формуле: КОХ = Vкл/Хл, где Vкл – объем клетки, Хл – число хлоропластов в клетке [10]. Подсчет количества пластид, клеток, КОХ проводили в 50 клетках палисадной паренхимы и в 50 клетках

губчатой паренхимы в листьях, собранных у растений на литорали и отдельно на супралиторали. Для статистической обработки данных использовали стандартный пакет программ MS Exsel и Statgraphics for Windows. Достоверность различий параметров листьев оценивали по *t*-критерию Стьюдента при P = 0,95.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам выполненного исследования лист у *B. maritimus* имеет изолатеральный тип строения мезофилла с расположением палисадной паренхимы под верхней и нижней эпидермой, что согласуется с данными литературы [5, 6]. В центральной части листовой пластинки расположены клетки губчатого мезофилла, между проводящими пучками – аэренхима. M. Amini Rad и Z. Hroudová [5] определяют листья *B. maritimus* как V-образные или килевидные в поперечном сечении.

Устьица парацитного типа и расположены на обеих сторонах листовой пластинки, т.е. лист амфистоматический. В верхней эпидерме в области центральной жилки формируются особые структурные образования – моторные клетки, характерные для видов семейства *Cyperaceae*, к которому относится *B. maritimus*. Ряд исследователей [5, 6, 11] считают, что моторные клетки участвуют в сворачивании листовой пластинки у галофитов, периодически переживающих засуху. Механическая ткань склеренхима образуется вокруг проводящих пучков, а также в виде отдельных групп клеток под верхней и нижней эпидермой листа. Аналогичное расположение склеренхимы отмечено и в стебле *B. maritimus* [5, 6]. Формирование механической ткани в надземных вегетативных органах позволяет растениям изучаемого вида противостоять приливно-отливным колебаниям на побережье Белого моря.

Установлено, что площадь листьев у *B. maritimus* в разных условиях обитания достоверно не отличается (табл. 1). Толщина листьев у литоральных растений существенно больше, чем у незаливаемых морской водой растений.

У растений на литорали также наблюдается увеличение числа устьиц на верхней и нижней сторонах листовой пластинки (табл. 2).

В разных условиях обитания на морском побережье у *B. maritimus* количество устьиц в нижней эпидерме в 1,5–2 раза выше, чем в верхней эпидерме, что согласуется с данными M. Amini Rad и Z. Hroudová [5] о многочисленных устьицах на нижней стороне листа. Большое число устьиц в листьях галофитов способствует их значительной транспирации, что важно для растений этой экологической группы, которые в условиях засоления подвержены обезвоживанию тканей органов.

Таблица 1

Морфологические параметры листьев растений *Bolboschoenus maritimus* в различных условиях произрастания

Условия произрастания	Параметры листьев	
	Площадь, см²	Толщина, мкм
Супралитораль	14,0 ± 0,8	486,0 ± 19,2*
Литораль	13,3 ± 0,9	646,5 ± 15,2*

Примечание .*отличия параметров достоверны.

Таблица 2

Количественные параметры устьиц в эпидерме листьев *Bolboschoenus maritimus* в различных условиях произрастания

Условия произрастания	Эпидерма	Параметры устьиц	
		Число устьиц в 1 мм² площади листа, шт.	Площадь устьица, мкм²
Супралитораль	Верхняя	142 ± 3*	497,2 ± 7,2*
	Нижняя	233 ± 4*	310,4 ± 4,7*
Литораль	Верхняя	151 ± 2*	441,0 ± 5,2*
	Нижняя	272 ± 7*	265,9 ± 3,2*

Примечание . *Отличия параметров достоверны.

Таблица 3

Количественные параметры мезоструктуры листьев *Bolboschoenus maritimus* в различных условиях произрастания

Параметры		Условия произрастания	
		Супралитораль	Литораль
Объем клетки, тыс. мкм^3	Моторной клетки	72,4 ± 3,0*	50,1 ± 2,1*
	Палисадного мезофилла	1,4 ± 0,03*	1,1 ± 0,02*
	Губчатого мезофилла	0,2 ± 0,01*	0,1 ± 0,005*
	Аэренхимы	2,6 ± 0,1*	1,4 ± 0,03*
Число клеток, тыс/см^2	Палисадного мезофилла	347,2 ± 20,4*	936,6 ± 60,0*
	Губчатого мезофилла	160,1 ± 11,5*	290,3 ± 20,6*
Число хлоропластов, шт.	Палисадного мезофилла	21 ± 0,4*	29 ± 0,4*
	Губчатого мезофилла	12 ± 0,2*	15 ± 0,2*
Объем клетки, соответствующий одному хлоропласту, мкм^3	Палисадного мезофилла	71,5 ± 2,4*	40,0 ± 1,1*
	Губчатого мезофилла	17,2 ± 0,6*	11,1 ± 0,4*

Примечание. *Отличия параметров достоверны.

По данным анализа количественных показателей мезоструктуры ассимиляционного аппарата *B. maritimus* определено, что объем моторной клетки, клеток палисадного и губчатого мезофилла, аэренхимы существенно выше в листьях у растений на супралиторали. Наименьший объем определен у клетки губчатой паренхимы, наибольший объем – у моторной клетки в листьях у вида в разных условиях обитания (табл. 3).

Число клеток палисадного и губчатого мезофилла значительно выше в листьях *B. maritimus*, обитающего в приливно-отливной зоне (табл. 3). Клеток губчатой паренхимы в 2 (на супралиторали), 3 (на литорали) раза меньше, чем клеток палисадной паренхимы. Повышение числа клеток мезофилла у *B. maritimus* на литорали способствует увеличению толщины листовой пластинки, что особенно важно для растений в условиях сильного воздействия приливно-отливного цикла.

Количество хлоропластов, как и число клеток палисадного и губчатого мезофилла, выше у *B. maritimus* на литорали. Число пластид в клетках губчатой паренхимы почти в 2 раза меньше, чем в клетках палисадной паренхимы, у вида в разных условиях произрастания. С числом пластид связаны различия в значениях объема клетки, соответствующего одному хлоропласту (табл. 3). Так, у *B. maritimus* установлена обратная зависимость между этими двумя показателями – чем больше количество хлоропластов, тем меньше объем клетки, соответствующий одному хлоропласту. Наибольший объем хлоропласта в клетках ассимиляционного аппарата отмечен у вида на супралиторали. У растений в разных местообитаниях значение этого показателя анатомической структуры листовой пластинки в 3–4 раза выше в клетках палисадного мезофилла.

Виды-галофиты разных групп сосудистых растений отличаются по своему анатомическому строению, сочетая своеобразные признаки ксероморфной и галоморфной организации. Ряд исследователей [7, 12, 13] отмечают такие черты ксероморфной структуры, как увеличение толщины листовых пластинок, преобладание видов с изолатеральным типом мезофилла, четко выраженный палисадный мезофилл, увеличение развития воздухоносных полостей, уменьшение размеров клеток тканей и увеличение их числа, снижение величины объема клетки, соответствующего одному хлоропласту. К признакам галоморфной структуры листьев относятся слабое развитие механических тканей, крупные по размерам клетки губчатой паренхимы, большое число устьиц в эпидерме и хлоропластов в клетках мезофилла [2, 7, 14]. Анализ полученных нами результатов показал, что для листьев *B. maritimus* также характерны указанные ксероморфные и галоморфные черты анатомической структуры. При этом по данным количественных параметров мезоструктуры листьев ксероморфные, как и частично галоморфные (большое количество устьиц и пластид) признаки особенно выражены у листьев *B. maritimus*, который произрастает в приливно-отливной зоне. При этом толщина листьев у изучаемого вида больше – 486,0 ± 19,2 мкм (на супралиторали) и 646,5 ± 15,2 мкм (на литорали), чем значение данного показателя у растений пустынной зоны Средней Азии – 339,0 ± 12,0 мкм [12]. Возможно,

увеличение толщины листьев у галофитов обусловлено лучшими условиями водного режима растений на морских побережьях.

Во́ды Поморского мелководного прибрежья вблизи устья р. Колежма в окрестностях пос. Колежма, где произрастает *B. Maritimus*, характеризуются низкой соленостью (до 7‰), в результате поступления большого объема пресных речных вод [1], поэтому данный вид возможно в большей степени испытывает водный, а не солевой стресс. *B. maritimus* является факультативным галофитом, который предпочитает расти в увлажненных местах обитания, но часто встречается и на морских побережьях. Как отмечает Е.Ф. Марковская с соавт. [9], водный стресс у растений в приливно-отливной зоне побережья Белого моря обусловлен тем, что в период отлива они достаточно длительное время (от 3 до 12 ч в сутки) могли находиться на воздухе, где отмечалась не только высокая температура (до 25 °С), но и высокая освещенность (до 1200–1400 мкмоль фотонов/(м2с)) в сочетании с длинным полярным днем в этих широтах. В связи с этим у *B. maritimus* более выражены черты ксероморфной структуры листьев, которые позволяют виду адаптироваться к водному дефициту и повышенной инсоляции.

Заключение

На морских побережьях постоянно складываются стрессовые экологические ситуации, поэтому их флора находится в экологически напряженных условиях, обусловленных естественной нестабильностью – засоленность, мозаичность и подвижность субстрата, влияние ветра определенной направленности, специфический температурный режим, недостаточная или избыточная аэрация, штормовые волны и другие факторы [1, 7]. В таких условиях прибрежного обитания у растений сформировались различные адаптивные механизмы, которые обеспечивают протекание жизненных процессов и приспособленность к стрессам [7]. По данным проведенного исследования у *B. maritimus* в контрастных условиях обитания на побережье Белого моря сформировались следующие приспособления анатомической структуры листьев – образование изолатерального мезофилла, аэренхимы, увеличение толщины листа, переход к мелкоклеточности мезофилла и повышение числа его клеток, увеличение числа хлоропластов и устьиц, расположенных на верхней и нижней сторонах листовой пластинки. Формирование механической ткани склеренхимы у *B. maritimus* в надземных вегетативных органах позволяет растениям произрастать в нестабильных условиях обитания, особенно в приливно-отливной зоне морского побережья.

Авторы выражают большую благодарность Гуляевой Е.Н. за помощь в сборе полевого материала для проведения исследования.

Список литературы

1. Марковская Е.Ф., Сергиенко Л.А., Шкляревич Г.А., Сонина А.В., Стародубцева А.А., Смолькова О.В. Природный комплекс побережья Белого моря. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 83 с.

2. Марковская Е.Ф., Гуляева Е.Н. Роль устьиц в адаптации растений *Plantago maritima* L. к приливно-отливной динамике на литорали Белого моря // Физиология растений. 2020. Т. 67. № 1. С. 75–83. DOI: 10.31857/S0015330319060083.

3. Татанов И.В. Таксономический обзор рода *Bolboschoenus* (Aschers.) Palla (*Cyperaceae*) // Новости систематики высших растений. 2007. Т. 39. С. 46–148.

4. Simons E.L.A.N., Haveman R., Kleyheeg E. Revision of *Bolboschoenus* (Asch.) Palla (Cyperaceae) in the Netherlands. Gorteria-DBA. 2016. Vol. 38. No. 6. P. 189–223.

5. Amini Rad M., Hroudová Z. Leaf and stem anatomy in Iranian Bolboschoenus species (Cyperaceae) as related to their taxonomy and ecology. Iran. J. Bot. 2013. Vol. 19. No. 1. P. 221–234.

6. Grigore V.-N., Ivanescu L., Toma C. Halophytes: An Integrative Anatomical Study. Switzerland: Springer International Publishing, 2014. 548 p.

7. Воронкова Н.М., Бурковская Е.В., Безделева Т.А., Бурундукова О.Л. Морфологические и биологические особенности растений в связи с их адаптацией к условиям морских побережий // Экология. 2008. Т. 39. № 1. С. 3–9.

8. Бурковская Е.В. Мезоструктура фотосинтетического аппарата *Senecio pseudoarnica* Less. на разных широтах Дальнего Востока России // Вестник КрасГАУ. 2011. № 1. С. 104–108.

9. Марковская Е.Ф., Кособрюхов А.А., Морозова К.В., Гуляева Е.Н. Фотосинтез и анатомо-морфологическая характеристика листьев астры солончаковой на побережье Белого моря // Физиология растений. 2015. № 6. Т. 62. С. 847–853. DOI: 10.7868/S0015330315060123.

10. Борзенкова Р.А., Храмцова Е.В. Определение мезоструктурных характеристик фотосинтетического аппарата растений. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2006. 27 с.

11. Розенцвет О.А., Нестеров В.Н., Богданова Е.С. Структурные и физиолого-биохимические аспекты солеустойчивости галофитов // Физиология растений. 2017. Т. 64. № 4. С. 251–265.

12. Пьянков В.И. Роль фотосинтетической функции в адаптации растений к условиям среды: дис. … докт. биол. наук в форме устного доклада. Москва, 1993. 84 с.

13. Иванова Л.А. Адаптивные признаки структуры листа растений разных экологических групп // Экология. 2014. № 2. С. 109–118. DOI: 10.7868/S0367059714020024.

14. Ахмадуллина Э.Б. Влияние засоления почвы на мезоструктуру фотосинтетического аппарата галофитов, различающихся по жизненной форме // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017. Т. 26. № 2. С. 135–144.

СТАТЬИ

УДК 616.28-008.14

ОСОБЕННОСТИ ДОШКОЛЬНОГО АУДИОЛОГИЧЕСКОГО СКРИНИНГА

Мусаев А.А., Абдукаюмов А.А., Наджимутдинова Н.Ш.

Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр педиатрии, Ташкент, e-mail: halil86@list.ru

Данная научная работа посвящена проблеме патологии слуха у детей дошкольного возраста, в частности о вопросе развития структур, необходимых для раннего выявления и дальнейшего лечения. Распространенность частоты потери слуха составляет 1–3 / 1000 у новорожденных и доходит до 9–10 / 1000 у детей в школьном возрасте, по меньшей мере у 50% из них с потерей слуха в школьном возрасте диагностируется нарушение слуха после проведения скрининга слуха новорожденных. Постоянное нарушение слуха у детей приводит к инвалидизации, которая затрагивает приблизительно 1–1,3 из 1000 детей. Цель – изучить особенности дошкольного аудиологического скрининга. Разработан особый алгоритм проведения дошкольного аудиологического скрининга, который подразделяется на два этапа. С помощью данного скрининга обследованы дети дошкольного возраста 5–7 лет. Всего обследовано 1000 детей. Односторонняя патология слуха была выявлена у 39 детей из 1000 обследованных, что составляет 3,9%. Выявленная патология была односторонней во всех случаях. При проведении дошкольного аудиологического скрининга нами была выявлена патология слуха у тех детей, у которых в анамнезе и при оториноларингологическом осмотре отмечалась та или иная ЛОР патология, которая могла приводить в дальнейшем к нарушению слуха. Это объясняется тем, что среди нарушений слуха в раннем дошкольном возрасте высок удел относительно быстро проходящих расстройств функций среднего уха, воспалений среднего уха.

Ключевые слова: патология слуха, дошкольный возраст, дошкольный скрининг, ЛОР осмотр

FEATURES OF PRESCHOOL AUDIOLOGICAL SCREENING

Musaev A.A., Abdukayumov A.A., Nadzhimutdinova N.Sh.

Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Pediatrics, Tashkent, e-mail: halil86@list.ru

This scientific work is devoted to the problem of hearing pathology in preschool children, in particular, on the issue of the development of structures necessary for early detection and further treatment. The prevalence of the frequency of hearing loss is 1-3 / 1000 in newborns and reaches 9-10 / 1000 in children of school age, at least 50% of them with hearing loss at school age are diagnosed with hearing impairment after screening of newborn hearing. Permanent hearing impairment in children leads to disability, which affects approximately 1–1.3 in 1000 children. The aim was to study the features of preschool audiological screening. Materials and methods. A special algorithm for preschool audiological screening has been developed, which is divided into two stages. With the help of this screening, children of preschool age 5-7 years old were examined. Results and discussion. A total of 1000 children were examined. Hearing pathology was detected in 39 ears of 39 children out of 1000 examined, which is 3.9%. The revealed pathology was unilateral in all cases. Conclusions. When carrying out preschool audiological screening, we identified a hearing pathology in those children who had one or another ENT pathology in the history and during otorhinolaryngological examination, which could lead to further hearing impairment. This is due to the fact that among hearing impairments in early preschool age there is a high proportion of relatively quickly passing disorders of the functions of the middle ear, inflammation of the middle ear.

Keywords: hearing pathology, preschool age, preschool screening, ENT examination

Распространенность частоты потери слуха составляет 1–3 / 1000 у новорожденных [1] и доходит до 9–10 / 1000 у детей в школьном возрасте [2], по меньшей мере у 50% из них с потерей слуха в школьном возрасте диагностируется нарушение слуха после проведения скрининга слуха новорожденных – ССН [3]. Кроме того, объективные исследования показывают, что выявляемость нарушения слуха составляет свыше 20% [2, 4]. Постоянное нарушение слуха у детей приводит к инвалидизации, которая затрагивает приблизительно 1–1,3 из 1000 детей [5, 6].

Одним из универсальных исследований слухового анализатора, предназначенным для выявления случаев нарушений слуха из общего количества обследованных, является скрининг [7].

Скрининг в раннем возрасте (СРВ) позволяет выявить детей с врожденными нарушениями слуха для последующего наблюдения после неудачного скрининга слуха новорожденных (ССН) [3], а также для пациентов с поздним началом, прогрессирующей или колеблющейся потерей слуха, что облегчает детям с данной патологией обучение в обычной школе. Так, в США проводится постнатальный ССН всем детям до 4-летнего возраста [8] или после поступления в государственную школу [2]. Все дети дошкольного возраста в США принимают участие в обязательной программе «Head Start», финансируемой правитель-

ством, которая просит иметь документацию о скрининге слуха при поступлении в школу [9].

По данным литературы, исследуя слух у 2236 детей 4-х лет, обнаружили нарушения слуха у 5,5% детей, причем в 66,9% случаев снижение слуха носило звукопроводящий характер [7, 10].

Также аналогичные исследования выявили, что из 5000 обследованных детей детсадовского возраста определили нарушения слуха у 6,7%, при этом основной причиной тугоухости у этих детей оказался экссудативный средний отит (ЭСО), о котором ни родители, ни дети не были информированы, значительно реже были выявлены сенсоневральная тугоухость и адгезивный отит, хронический гнойный средний отит [9, 10].

Отмечается высокий уровень заболеваемости ЭСО, до 90% детей дошкольного возраста страдают данным заболеванием в среднем четыре раза в год [11].

Экссудативный средний отит является частым заболеванием среди детских патологий и по частоте приравнивается к диарее [11, 12], при этом ЭСО может привести к стойким нарушениям слуха, оказать негативное влияние на развитие ребенка, социальной адаптации и инвалидизации.

Цель исследования: изучить особенности дошкольного аудиологического скрининга.

Материалы и методы исследования

Нами обследовано 1000 детей дошкольного возраста 5–7 лет.

Нами разработан особый алгоритм проведения дошкольного аудиологического скрининга, который подразделяется на два этапа.

На первом этапе среди организованного дошкольного контингента проводятся рутинные скрининговые исследования, куда входят: 1) опрос и изучение медицинских карт, которое проводится с воспитателями и медицинским персоналом, наблюдающим за детьми длительное время в данном дошкольном учреждении; 2) первичный осмотр ЛОР органов, включающий в себя отоскопию, риноскопию, фарингоскопию; 3) аудиологическое исследование – заполняется слуховой паспорт ребенка, затем проводится диагностика слуха методом скрининга регистрация отоакустической эмиссии на аппарате PATH MEDICAL SENTIERO (Германия), при котором идентифицируется наличие или отсутствие патологии.

При выявлении в данной категории детей детсадовского возраста подозрений на патологию слуха такие дети направляются на второй этап.

Результаты исследования и их обсуждение

При изучении данных анкет и анамнеза детей в процессе дошкольного аудиологического скрининга на патологию слуха были выявлены следующие перенесенные патологии: острый катаральный средний отит наблюдался у 20 детей, что составило 2%, а экссудативный средний отит, который может приводить к невыявленной патологии слуха, наблюдался у 10 детей (1%). Среди риносинуситов наибольшее количество приходится на острый риносинусит, который отмечался у 70 детей (7%), а чуть меньше – хронический риносинусит у 25 (2,5%). Среди патологии лимфоидного глоточного кольца чаще всего были отмечены такие патологии, как аденоидные вегетации II степени у 128 (12,5%), аденоидные вегетации III степени у 57 (5,7%), гипертрофия небных миндалин II степени у 184 (18,4%), гипертрофия небных миндалин III степени у 63 (6,3%). Сочетанные патологии встречались редко: так, аденоидные вегетации в сочетании с гипертрофией небных миндалин были выявлены у 45 детей, что составило 4,5%. Одна из патологий с наименьшим удельным весом – хронический тонзиллит, который выявился у 7% детей (n – 7). Также по данным анкет и анамнеза были выявлены манипуляции на ЛОР органах, такие как аденотомия, которая была проведена у 15 (1,5%) детей, аденотонзиллотомия у 10 (1%) детей. Анализ перенесенных инфекционных заболеваний отмечался у 40 детей (4%). При сборе анамнеза со слов воспитателей у 13 (1,3%) детей отмечается невнимательность на занятиях (рис. 1).

При оториноларингологическом осмотре, являющемся одним из этапов дошкольного скрининга, выявлены следующие патологии лимфоидного глоточного кольца, среди которых у большинства детей 184 (18,4%) отмечалась гипертрофия небных миндалин, у 128 (12,8%) детей – аденоидные вегетации. Сочетанная патология небных и носоглоточных миндалин, которая может приводить в дальнейшем к патологии слуха и другим расстройствам, отмечалась у 128 детей, что составило (12,8%). У наименьшего количества детей была выявлена такая патология носа, как деформация перегородки носа, которая отмечалась у 108 (10,8%) детей. Серная пробка, которая также может препятствовать проведению звука, являясь механической преградой, отмечалась у 20 (2%) детей (при удалении серной пробки проведен повторный аудиологический скрининг, в результате которого изменений данных аудиологического исследования не отмече-

но), риносинуситы выявлены у 16 (1,6%) детей, из них у 3 детей отмечался острый риносинусит, вазомоторный аллергический ринит у 10 детей, а у остальных 3 детей был выявлен риносинусит с слизисто-гнойными выделениями, сочетанные патологии ЛОР органов, такие как аденоидные вегетации + гипертрофия небных миндалин с различными формами риносинуситов были выявлены у 1 (0,1%) ребенка (рис. 2).

Таким образом, по данным анкет и анамнеза из 1000 дошкольных детей были выявлены патологии со стороны ЛОР органов у 687 детей, а при собственно ЛОР осмотре из этого же количества детей детсадовского возраста патология ЛОР органов выявлена у 585 детей. Корреляция данных анкет, анамнеза и собственно ЛОР осмотра была незначительной с разницей в 10,2% при всех нозологиях (рис. 3).

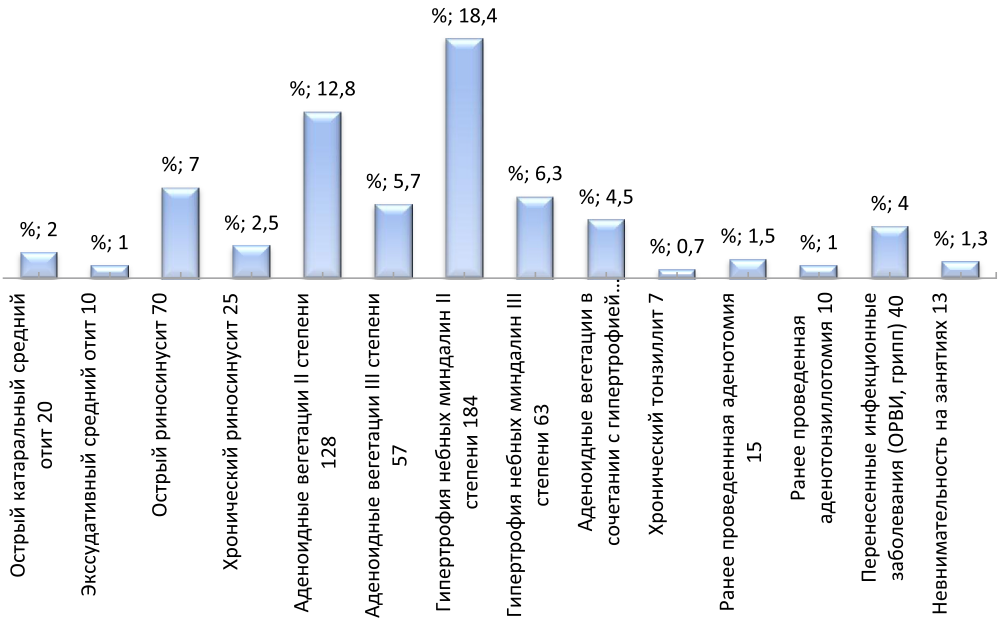

Рис. 1. Данные анкет и анамнеза

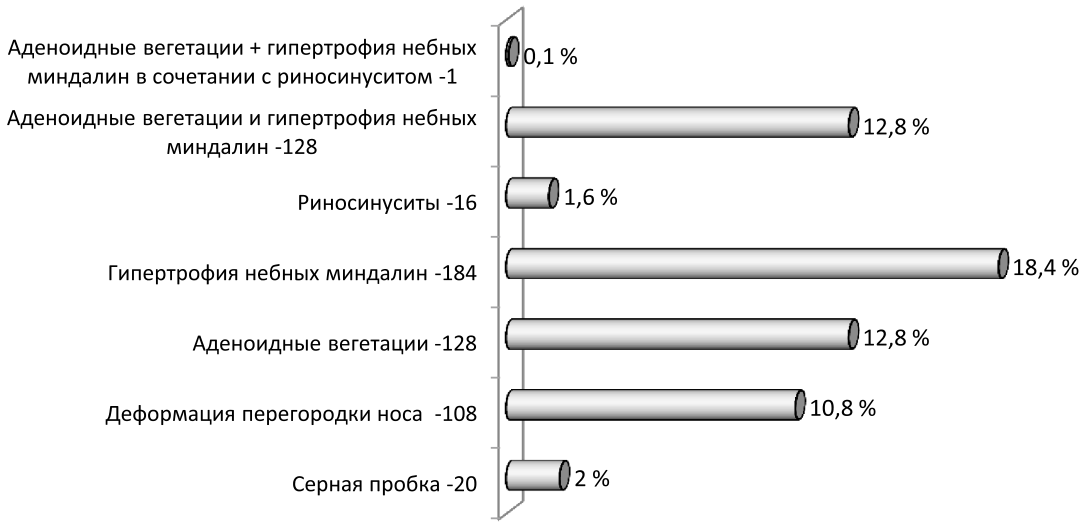

Рис. 2. Выявленные ЛОР патологии

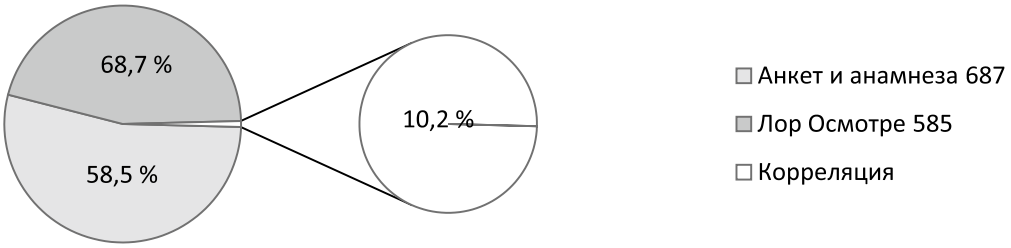

Рис. 3. Корреляция данных анкет и осмотров

Результаты аудиологического исследования методом скрининга в дошкольном учреждении, ОАЭ, n – 39

ЛОР патологии	Количество детей	Не прошел		Всего
		правое ухо	левое ухо	
Деформация перегородки носа	4 (10,25%)	1	3	4
Аденоидные вегетации	6 (15,4%)	2	4	6
Гипертрофия небных миндалин	8 (20,5%)	3	5	8
Аденоидные вегетации и гипертрофия небных миндалин	5 (12,8%)	1	4	5
Хронический тонзиллит	2 (5,15%)	–	2	2
Вазомоторный аллергический ринит	6 (15,4%)	2	4	6
Аденоидные вегетации + аллергический ринит	8 (20,5%)	2	6	8

Следующим этапом было само аудиологическое исследование в дошкольном учреждении, нами была выявлена патология слуха у тех детей, у которых в анамнезе и при оториноларингологическом осмотре отмечалась та или иная ЛОР патология, которая могла приводить в дальнейшем к нарушению слуха.

Патология слуха была выявлена в 39 ушах у 39 детей из 1000 обследованных, что составляет 3,9%, таким образом, выявленная патология была односторонней во всех случаях.

При анализе выявленной патологии слуха и сопутствующей ЛОР патологии было выявлено, что патология слуха встречалась чаще всего у детей, у которых констатировались: аденоидные вегетации в сочетании с вазомоторным аллергическим ринитом и гипертрофия небных миндалин, которые составили одинаковое количество ушей, по 8 ушей на каждое заболевание, что составило 15,4%. Также среди них отмечались нарушение слуха при таких патологиях, как аденоидные вегетации и вазомоторный аллергический ринит, которые имели равное количество ушей по 6–15,4% на каждую нозологическую единицу. При собственно ЛОР осмотре с патологией слуха были выявлены: аденоидные вегетации в сочетании с гипертрофией небных миндалин у 5 детей – 12,8%, деформация перегородки носа у 4 детей – 10,25% и наименьший удельный вес отмечался при хронической патологии лимфоидного глоточного кольца, такой как хронический тонзиллит который составил 5,15% (таблица).

Таким образом, можно сказать, что удельный вес патологии слуха при дошкольном скрининге составляет 3,9 случаев на 1000 обследованных детей дошкольного возраста. Также можно сказать, что наибольшее количество патологии слуха выявлено у детей с гипертрофией небных миндалин, аденоидной вегетацией при сочетании с вазомоторным аллергическим ринитом, данный факт свидетельствует о необходимости обязательного раннего выявления ЛОР патологий у детей дошкольного возраста.

В результате дошкольного аудиологического скрининга нами был разработан алгоритм проведения аудиологической диагности слуха у детей дошкольного возраста (рис. 4).

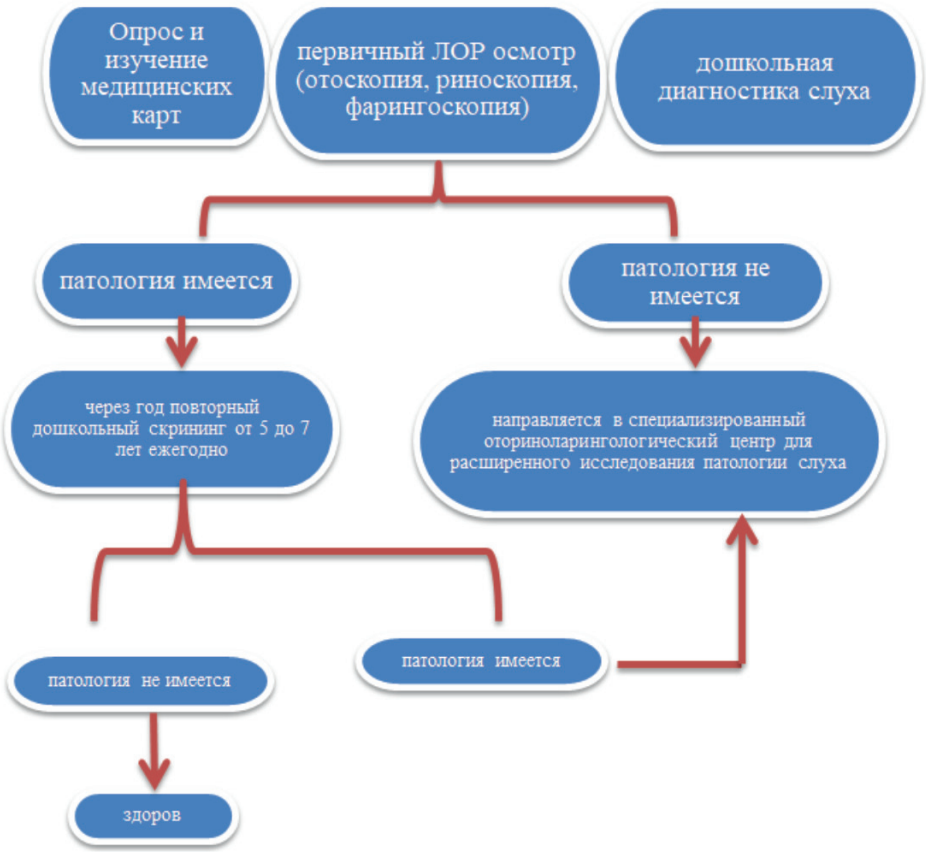

Рис. 4. Алгоритм проведения аудиологической диагностики слуха у детей дошкольного возраста

Заключение

Таким образом, при проведении дошкольного аудиологического скрининга, нами была выявлена патология слуха у тех детей, у которых в анамнезе и при оториноларингологическом осмотре отмечалась та или иная ЛОР патология, которая могла приводить в дальнейшем к нарушению слуха. Это объясняется тем, что среди нарушений слуха в раннем дошкольном возрасте высок удел относительно быстро проходящих расстройств функций среднего уха, воспалений среднего уха.

Список литературы

1. Mehra S., Eavey R.D., Keamy D.G. Jr. The epidemiology of hearing impairment in the United States: newborns, children, and adolescents. Otolaryngology-Head and Neck Surgery. 2009. vol. 140 (4). P. 461–472.

2. Bright K., Eichwald J., Jay Hall III et al. American Academy of Audiology Childhood Hearing Screening Guidelines. Reston, VA: American Academy of Audiology Task Force, 2011. P. 354–356.

3. Watkin P., Baldwin M. Identifying deafness in early childhood: requirements after the newborn hearing screen. Archives of disease in childhood. 2011. vol. 96 (1). P. 62–66.

4. Shargorodsky J., Curhan S.G., Curhan G.C., Eavey R. Change in prevalence of hearing loss in US adolescents. Jama. 2010. vol. 304 (7). P. 772–778.

5. Fortnum H., Davis A. Epidemiology of permanent childhood hearing impairment in Trent Region, 1985–1993. British journal of audiology. 1997. vol. 31(6). P. 409–446.

6. Korver A.M., et al. Newborn hearing screening vs later hearing screening and developmental outcomes in children with permanent childhood hearing impairment. Jama. 2010. vol. 304(15). P. 1701–1708.

7. Wroblewska-Seniuk K.E., Dabrowski P., Szyfter W., Mazela J. Universal newborn hearing screening: methods and results, obstacles, and benefits. Pediatric research. 2017. Vol. 81(3). P. 415–422. DOI: 10.1038/pr.2016.250.

8. Pediatrics A.A. Recommendations for Preventive Pediatric Health Care: Committee on Practice and Ambulatory Medicine and Bright Futures Periodicity Schedule Workgroup. Pediatrics, 2015. vol. 136(3): P. 727–729.

9. Barnett W.S., Friedman-Krauss A.H. State (s) of head start. 2016: National Institute for Early Education Research, Rutgers. P. 153–155.

10. Mandel E.M., Doyle W.J., Winther B., Alper C.M. The incidence, prevalence and burden of OM in unselected children aged 1–8 years followed by weekly otoscopy through the «common cold» season. International journal of pediatric otorhinolaryngology. 2008. vol. 72(4). P. 491–499.

11. Nwokoye N.N., Egwari L.O., Coker A.O., Olubi O.O., Ugoji E.O., Nwachukwu S.C. Predisposing and bacteriological features ofotitis media. Afr. J. Microbiol. Res. 2012. Vol. 6. P. 452–453.

12. Nwokoye N., Egwari L., Olubi O. Occurrence of otitis media in children and assessment of treatment options. The Journal of Laryngology & Otology. 2015. Vol. 129 (8). P. 779–783.

УДК 616.345-089.844-089.168.1

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ ТОЛСТОЙ КИШКИ ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ ТИПА ГАРТМАНА: СЛОЖНОСТИ И ИХ РЕШЕНИЕ

[1]Томнюк Н.Д., [2]Ховалыг В.С., [3]Мунин А.М., [1]Данилина Е.П., [1]Кембель В.Р., [1]Адилов М.М.

[1]ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Красноярск, e-mail: rector@krasgmu.ru;
[2]ГБУЗ Республики Тыва «Республиканская больница № 1», Кызыл, e-mail: hospital60@mail.ru;
[3]КГБУЗ «Красноярская межрайонная клиническая больница скорой медицинской помощи имени Н.С. Карповича», Красноярск, e-mail: bsmp@krasbsmp.ru

В данном сообщении были изучены результаты реконструктивных операций по восстановлению естественной кишечной непрерывности у больных, перенесших ранее операцию Гартмана. Восстановление непрерывности ободочной кишки после операции типа Гартмана является сложным оперативным вмешательством. Способ восстановления непрерывности кишечника определяется в каждом случае индивидуально в зависимости от длины культи прямой кишки, диастаза, выраженности рубцово-спаечных процессов, а также опыта хирурга. Проанализированы результаты хирургического лечения 92 больных, которым были выполнены реконструктивно-восстановительные операции. Заболевания, по поводу которых была выполнена резекция с наложением колостомы, распределены следующим образом: рак сигмовидной и прямой кишок, их травматические разрывы; завороты; перфорации; дивертикулез сигмы; некроз кишки, обусловленный венозным тромбозом. Сроки восстановления непрерывности зависят от причин, которые привели к резекции и наложению стомы. Авторы пришли к выводу, что при неопухолевых заболеваниях эту операцию лучше производить в интервале 2,5–3 месяца (реже 4) после первой, при ее гладком течении. При злокачественных опухолях – не ранее 8–9 месяцев – 1 года. Анастомоз лучше накладывать конец в бок – терминолатеральный, используя срединную лапаротомию.

Ключевые слова: операция Гартмана, анастомоз, лапаротомия, резекция, острая кишечная непроходимость, восстановление непрерывности кишечника

RESTORATION OF THE CONTINUITY OF THE COLON AFTER HARTMAN TYPE OPERATION: DIFFICULTIES AND THEIR SOLUTION

[1]Tomnuyk N.D., [2]Khovalyg V.S., [3]Munin A.M., [1]Danilina E.P., [1]Kembel V.R., [1]Adilov M.M.

[1]Krasnoyarsk State Medical University named after professor V.F. Voyno-Yasenetsky of the Ministry of Health of the Russian Federation, Krasnoyarsk, e-mail: rector@krasgmu.ru;
[2]Respublican Tyva hospital No. 1, Kyzyl, e-mail: hospital60@mail.ru;
[3]Krasnoyarsk Interdistrict Clinical Emergency Hospital named after N.S. Karpovich, Krasnoyarsk, e-mail: bsmp@krasbsmp.ru

This report examines the results of reconstructive operations to restore natural intestinal continuity in patients who had previously undergone Hartmann's operation. Restoring the continuity of the colon after Hartmann-type surgery is a complex surgical intervention. The method of restoring the continuity of the intestine is determined in each case individually, depending on the length of the rectal stump, diastasis, the severity of cicatricial adhesions, as well as the experience of the surgeon. The results of surgical treatment of 92 patients who underwent reconstructive operations were analyzed. Diseases for which the resection with colostomy was performed are distributed as follows: cancer of the sigmoid and rectum, their traumatic ruptures; twists, perforations, sigmoid diverticulosis; intestinal necrosis due to venous thrombosis. The timing of the restoration of continuity depends on the reasons that led to the resection and stoma placement. The authors came to the conclusion that in non-neoplastic diseases, this operation is best performed in the interval of 2.5-3 months (less often 4) after the first, with its smooth course. For malignant tumors – no earlier than 8-9 months-1 year. The anastomosis is best placed in the lateral side, using a midline laparotomy.

Keywords: Hartmann operation, anastomosis, laparotomy, resection, acute intestinal obstruction, restoration of intestinal continuity

В экстренной хирургии резекция левой половины толстой кишки представляет собой сложную задачу, так как восстановить ее непрерывность после операции практически невозможно [1, 2]. Нельзя соединить концы толстой кишки после резекции по поводу опухолевой непроходимости или заворота сигмы с некрозом, перфорации или ранения, а также ряда воспалительных заболеваний, приводящих к развитию калового перитонита [3–5]. Первичный анастомоз в этих условиях обречен на несостоятельность швов, поэтому хирурги либо выводят оба конца кишки на переднюю брюшную стенку, либо выполняют оперативное вмешательство типа опера-

ции Гартмана с целью впоследствии восстановить ее непрерывность. Эти операции, как отмечают некоторые авторы [6–8], с одной стороны, приводят к снижению уровня тяжелых послеоперационных осложнений, являясь единственным верным способом завершения оперативного лечения в тактическом плане, а с другой стороны, создают дополнительные сложности, которые приводят к инвалидизации пациентов, длительным моральным и физическим страданиям, замкнутости и самоизоляции. Естественно, вышеперечисленное откладывает негативный отпечаток на поведение больного, значительно ухудшает качество его жизни как в социальном, так и в трудовом плане. К сожалению, эта проблема, по данным ВОЗ, за последние десятилетия обостряется во всех странах мира. Наблюдается тенденция к увеличению количества стомированных больных по разным причинам, а у многих из них такой объем операции остается пожизненно [3, 8, 9].

Следовательно, наилучшим фактором возвращения больных к нормальной жизни является восстановление непрерывности кишечного тракта – проведение реконструктивно-восстановительной операции. Как отмечают многие специалисты [5, 10, 11], все восстановительные операции относятся к разряду сложных оперативных вмешательств. И эта сложность обусловлена целым рядом факторов: нет четкого интервала времени на ее выполнение после первой операции, вида оперативного доступа и способа наложения анастомоза между резецированными участками толстой кишки. Существуют проблемы с профилактикой возможных осложнений, а также, что немаловажно, с оснащением медицинским оборудованием и опытом хирурга. Все эти вопросы очень важны и заслуживают особого внимания. Об этом свидетельствует статистика: несостоятельность швов анастомоза после реконструктивно-восстановительной операции составляет от 18–20% случаев, разного рода гнойно-воспалительные осложнения – 22–26%, а в 3–7% случаях после операции наступает летальный исход [7, 12, 13]. Если еще учесть психологический фактор после первой операции и ее осложнения, наличие сопутствующих хронических заболеваний, то все эти опасения весьма тревожны и опасны.

Цель нашего сообщения – выявление наиболее оптимальных сроков для выполнения реконструктивно-восстановительных операций у больных после операции типа Гартмана в зависимости от основного заболевания; определение оперативного доступа, вида анастомоза и возможных осложнений с учетом клинико-анатомических условий.

Материалы и методы исследования

Работа основана на материале лечения 92 пациентов, которым были выполнены реконструктивно-восстановительные операции на толстой кишке по восстановлению ее непрерывности. Пациенты находились на лечении в общехирургических стационарах Республиканской больницы № 1 г. Кызыла (Республика Тыва) и 3-го хирургического отделения КГБУЗ КМКБСМП имени Н.С. Карповича, г. Красноярска в период с 2008 по 2019 г. Характеристика больных: мужчин было 58, женщин – 34; возраст – от 23 до 74 лет. Все пациенты перенесли обструктивную резекцию левой половины толстой кишки с наложением колостомы.

Причины, которые привели к резекции левой половины толстой кишки, были самые разнообразные: 42 пациента оперированы по поводу толстокишечной опухолевой непроходимости; у 16 – были осложнения дивертикулярной болезни с перфорацией, кровотечением, формированием инфильтратов, абсцессов – с явлениями перитонита; у 14 – заворот сигмовидной кишки при долихосигме с нарушением кровоснабжения, некрозом; у 6 – перфорация кишки с образованием абсцессов при язвенном колите и у 3 пациентов – перфорация инородными телами (рыбьей костью – в 2 случаях и зубным протезом в 1 случае) с образованием неспецифической опухоли (гранулемы); узлообразование и ущемление сигмовидной кишки в грыже – соответственно по 2 случая; травма дистальных отделов толстой кишки и промежности – у 7 (автодорожная травма – в 4 случаях, бытовая – в 2 и спортивная (борьба) – в 1 случае). Все больные поступали в отделения в разные сроки с момента заболевания: от 6 до 24 и более часов. Большинство первичных операций были выполнены в других стационарах в условиях осложненной патологии. Следует отметить, что многие больные с колостомами (17) имели ряд сопутствующих заболеваний и осложнений после первой операции. Сахарный диабет, болезни сердца, легких, желудочно-кишечного тракта, у 3 больных были осложнения в виде выпадения и ретракции колостомы, у 2 — грыжи, лигатурные свищи, также имело место их сочетание.

Подготовка больных к восстановительной операции требовала выполнения мероприятий, направленных на улучшение результатов лечения данной патологии и подготовку проксимального и дистального отделов толстой кишки для анастомози-

рования с целью восстановления ее непрерывности. Всем пациентам проводились исследования: рентгенография толстого кишечника; осмотр прямой кишки; определение диастаза между концами резецированного кишечника. Большое значение имеет пальцевое исследование через колостому с целью выявления метастазов. Предоперационная подготовка включала коррекцию водно-электролитного, белкового обменов, особенно у онкологических и пожилых пациентов, промывание прямой кишки фурациллином, ее массаж. Решающее значение в подготовке к повторной восстановительной операции имела патология, при которой производилась резекция с наложением колостомы. В среднем на предоперационную подготовку отводилось от 7 до 14 дней.

Результаты исследования и их обсуждение

Определяя сроки выполнения реконструктивно-восстановительных операций, мы разделили пациентов на 2 группы. Первая группа (50 человек) – это больные, которые были оперированы по поводу травм и доброкачественных заболеваний левой половины толстой кишки. Вторая группа (42 пациента) – со злокачественными опухолями сигмовидной и прямой кишки.

Больные из 1-й группы были, в свою очередь, разделены на пациентов, которым первая операция (типа Гартмана) выполнена в ранние сроки, без явлений перитонита – 28 пациентов, у 22 пациентов – в более поздние сроки, с явлениями перитонита.

Так, больным, не имевшим осложнений, из 28 пациентов в 23 случаях реконструктивно-восстановительные операции выполнены в сроки от 2,5 до 3 месяцев без каких-либо осложнений. Трем пациентам – в сроки 3–4 месяца от начала первой операции и двум – до 5 месяцев. Это были больные пожилого возраста. Основные причины задержки операции – их неинформированность и бытовые условия.

Осложнения отмечены в виде пареза кишечника, которые разрешились консервативно – 3 случая; и нагноения швов в области колостомической раны – 2 случая.

Пациентам из группы (22), у которых были осложнения после первой операции, восстановление непрерывности толстой кишки выполнено в интервале 4–5 месяцев. Мы исходили из того, что эти сроки, по мнению некоторых специалистов [5, 9, 10], являются оптимальными из-за нарушения микрофлоры, выраженности изменений в виде рубцово-спаечных процессов, наличия диверсионного колита и воспалительных изменений кожи вокруг колостомы. Осложнения отмечены у восьми больных: в двух случаях – несостоятельность швов анастомоза с развитием перитонита и летальным исходом; в пяти случаях – нагноение мягких тканей после закрытия колостомы, и в одном случае открылся тонкокишечный свищ (выздоровление). Причиной возникновения осложнений можно считать выраженный спаечный процесс, множественные десерозации петель тонкой кишки (со вскрытием просвета в одном случае), а также возраст пациентов старше 60 лет, наличие сопутствующих заболеваний (сахарный диабет, кардиальная патология) и, возможно, психологическая подавленность.

Немаловажное значение имеет оперативный доступ и вид наложения анастомоза. Рубцово-спаечный процесс является одной из основных проблем, обуславливающих дальнейшую тактику. Срединную лапаротомию мы применили у 90 пациентов, и только у 2 – косой окаймляющий разрез, но с последующей конверсией из-за невозможности наложения анастомоза. Срединная лапаротомия гарантированно давала возможность определить наличие рецидива опухоли или метастазов, избежать возможных осложнений при ревизии брюшной полости, проведении адгезиолизиса. При раке левой половины ободочной кишки (42 случая) реконструктивно-восстановительную операцию выполнили в сроки от 8 месяцев до 1,5 лет, а именно: 8–9 месяцев – 23 пациентам, до 1 года – 14 пациентам и около 1,5 лет – 5 пациентам. Как правило, по истечении этого срока уже была четкая уверенность в отсутствии рецидивов опухоли, либо метастазов.

У большей части пациентов этой группы (27) – выраженный спаечный процесс в области культи прямой кишки и малого таза, что усложняло ее выделение. Сложности возникали и при ее нахождении. Для этого мы использовали ректороманоскоп или толстый резиновый зонд, вводя их через анус, сочетая с раздуванием культи либо трансиллюминацией. Это облегчало нахождение и мобилизацию культи прямой кишки. Впоследствии всем больным после резекции левой половины ободочной кишки, культю прямой кишки фиксировали 2–3 швами к боковому каналу, что облегчало ее обнаружение.

Относительно наложения анастомозов мы пользовались в основном двумя видами: «конец в конец» и «конец в бок» – терминолатеральный. В двух случаях при короткой культе (менее 10 см) использовали аппарат АКА-2. Эта методика весьма перспективна, но вопрос о способе восстановления непре-

рывности толстой кишки должен решаться индивидуально в зависимости от длины культи прямой кишки, диастаза, технических возможностей и опыта хирурга. Анастомоз «конец в конец» накладывался в тех случаях, где не было натяжения. Анастомоз формировался двухрядными узловыми швами.

Осложненное послеоперационное течение отмечено у 18 пациентов из этой группы, из которых 5 человек умерли от перитонита (несостоятельность швов анастомоза). Все они были старше 60 лет и страдали сопутствующими заболеваниями. Среди других осложнений следует отметить образование инфильтрата в области анастомоза у 2 больных, у 1 из них инфильтрат регрессировал, в другом случае образовался каловый свищ, который удалось заживить без оперативного пособия (выздоровление). Нагноение операционной раны наблюдалось у 7 пациентов, раны зажили на 16-е сутки, больные выписаны на амбулаторное лечение. Ранняя спаечная кишечная непроходимость имела место в одном случае. У этого же больного впоследствии возникли эвентрация, пневмония.

Заключение

Таким образом, восстановление кишечной непрерывности после операции типа Гартмана является необходимым с целью трудовой и социальной реабилитации больных, но сложным в техническом отношении оперативным вмешательством. Вопрос о сроках и методе восстановления непрерывности толстой кишки, как правило, должен решаться в зависимости от причины заболевания, сроках наложения стомы. Он может колебаться, как в сторону уменьшения срока, так и увеличения. Оптимальными мы считаем сроки от 2,5 до 3 месяцев при неопухолевых заболеваниях, от 3 до 5 месяцев при неблагоприятных условиях наложения стомы (перитонит). У больных с онкозаболеваниями при опухолевой непроходимости эти сроки могут колебаться от 8–9 месяцев до 1,5 года. При выборе способа восстановления непрерывности толстой кишки предпочтение отдается анастомозу «конец в бок» – терминолатеральному из срединного, как наиболее обоснованного доступа при короткой культе прямой кишки, выраженности рубцово-спаечного процесса. Второй вид анастомоза «конец в конец» лучше использовать при длинной культе прямой кишки, минимальном спаечном процессе и без осложнений после первой операции. Только восстановление непрерывности кишечника обеспечивает психологическую, медико-социальную реабилитацию этих больных.

Список литературы

1. Вологдин А.А., Лихтерман Б.Л. Операция Гартмана: история и современные требования // Военно-медицинский журнал. 2015. Т. 336. № 12. С. 53.

2. Гиберт Б.К., Матвеев И.А., Хасия Д.Т., Матвеев А.Л., Калиниченко А.П. Способы восстановления непрерывности кишечника после экстренных обструктивных резекций толстой кишки // Колопроктология. 2014. № 53 (49). С. 58.

3. Блохин В.Н., Васютков В.Я., Панков С.М. Операция Гартмана в лечении больных раком прямой кишки // Актуальные вопросы колопроктологии: тезисы докладов первого съезда колопроктологов России с международным участием. Самара, 2003. С. 181–183.

4. Петров В.И. Неотложная хирургия при раке толстой кишки. Минск, 2010. С. 180.

5. Шапринский В.А., Шапринский Е.В., Миронишен Ю.А., Шапринская Л.А., Верба А.В., Шалыгин С.М. Современные подходы к выполнению реконструктивно-восстановительных операций в хирургии толстой кишки // Хирургия. Восточная Европа. 2015. № 1 (13). С. 19–21.

6. Саламов К.Н., Жученко А.П., Москалев А.И. Выбор методов восстановления пассажа толстой кишки после операции Гартмана при короткой культе прямой кишки // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2001. № 1. С. 56–61.

7. Горичнич А.В., Мингилев С.В. Восстановление непрерывности толстой кишки у больных колостомой // Журнал научных статей здоровье и образование в XXI веке. 2017. Т. 19. № 10. С. 74–75.

8. Гришилин В.С., Султанмурадов М.И., Харагезов А.Д., Петренко Н.А. Опыт восстановительных операций после обструктивной резекции дистальных отделов толстой кишки // Гастроэнтерология. СПб., 2013. № 2. С. 9.

9. Chema Strik, Martijn W.J. Stommel, Laura J. Schipper Risk. Factors for suture repeat abdominal surgery. Lungenbecks archivesof surgery. 2016. vol. 401. № 6. P. 829–837.

10. Дарвин В.В., Ильканич А.Я., Васильевич В.В. Сроки выполнения восстановительных операций у стомированных больных // Актуальные вопросы колопроктологии. Научная конференция, посвященная 40-летию ГНУ колопроктологии. М., 2005. С. 205–207.

11. Помазкин В.М., Мансуров Ю.В. Тактика оперативного лечения при опухолевой обтурационной толстокишечной непроходимости // Хирургия. 2008. № 9. С. 15–18.

12. Лунтовский А.М., Спирев В.В. Восстановление непрерывности толстой кишки после операции Гартмана с использованием аппарата компрессионных анастомозов // Университетская медицина Урала. 2017. Т. 3. № 1 (18). С. 41–42.

13. Матвеев И.А., Гильберт Б.К. Адгезивный процесс брюшной полости после экстренных обструктивных резекций и его влияние на восстановительные операции, выполняемые различными модификациями // Колопроктология. 2010. № 2. С. 2–3.

ОБЗОРЫ

УДК 616.366-089

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МАЛОИНВАЗИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖЕЛЧНОГО ПУЗЫРЯ И ЖЕЛЧЕВЫВОДЯЩИХ ПУТЕЙ

Шалин В.В., Маркосьян С.А., Теричев А.Е., Гечас А.А., Тетюшкин Н.С.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: vladshalin190@gmail.com

Заболевания желчного пузыря и внепеченочных желчевыводящих путей редко поддаются консервативному лечению. В современном мире с развитием науки и техники все чаще используются малоинвазивные методы хирургического лечения. Ход операции и течение послеоперационного периода во многом зависят от самого заболевания, правильно выбранного метода лечения и опыта оперирующего хирурга. Для проведения малоинвазивных операций необходимо соответствующее оборудование. Для лапароскопической хирургии основной частью является эндохирургический комплекс, который включает лапароскоп, видеокамеру с оптическим кабелем, источник света, видеомонитор, инсуфлятор, систему для ирригации и аспирации, оборудование для электрокоагуляции, лапароскопические инструменты, эндоскоп. Преимущества малоинвазивной хирургии: низкая травматичность, достаточно быстрая реабилитация больных, снижение сроков госпитализации, низкая потребность в обезболивающих препаратах, уменьшение количества дней нетрудоспособности, хороший косметический эффект, низкий процент послеоперационных осложнений и летальности, низкая иммуносупрессия, уменьшение риска возникновения спаечной болезни. Данный научный обзор посвящен обзору современных методов малоинвазивного лечения хирургических заболеваний желчевыводящей системы, таких как лапароскопическая холецистэктомия, эндоскопическая ретроградная панкреатохолангиография с эндоскопической папиллосфинктеротомией. Данные способы все чаще применяются в современной практике и набирают большую популярность в абдоминальной хирургии.

Ключевые слова: лапароскопия, хирургия, желчный пузырь, протоки, малоинвазивные методы

MODERN METHODS OF LOW INVASIVE TREATMENT OF DISEASES OF THE GALL BLADDER AND BILIARY TRACT

ShalinV.V., Markosyan S.A., Terichev A.E., Gechas A.A., Tetyushkin N.S.

National Research Mordovia State University named after N.P. Ogarev, Saransk, e-mail: vladshalin190@gmail.com

Diseases of the gallbladder and extrahepatic biliary tract rarely respond to conservative treatment. In the modern world, with the development of science and technology, minimally invasive methods of surgical treatment are increasingly used. The course of the operation and the course of the postoperative period largely depends on the disease itself, the correct treatment method and the experience of the operating surgeon. For minimally invasive operations, appropriate equipment is required. For laparoscopic surgery, the main part is an endosurgical complex, which includes: a laparoscope, a video camera with an optical cable, a light source, a video monitor, an insufflator, systems for irrigation and aspiration, equipment for electrocoagulation, laparoscopic instruments, an endoscope. Advantages of minimally invasive surgery: low trauma, fairly quick rehabilitation of patients, reduced hospital stay, low need for painkillers, fewer days of disability, good cosmetic effect, low percentage of postoperative complications and mortality, low immunosuppression, reduced risk of adhesive disease. This scientific review is devoted to a review of modern methods of minimally invasive treatment of surgical diseases of the biliary system, such as laparoscopic cholecystectomy, endoscopic retrograde cholangiopancreatography with endoscopic papillosphincterotomy. These methods are increasingly being used in modern practice and are gaining great popularity in abdominal surgery.

Keywords: laparoscopy, surgery, gallbladder, ducts, low invasive methods

Хирургия желчного пузыря и желчных путей сложна и интересна. Научно-технический прогресс позволяет использовать все новые методы малоинвазивного лечения данного вида патологий. Однако для проведения малоинвазивных манипуляций необходимо соответствующее оснащение и мастерство оперирующего хирурга.

Лапароскопическая холецистэктомия. Положение пациента лежа на спине. Для формирования карбоксиперитонеума используется специальная игла Вереша. Основные точки ее введения базируются на точках Калька. После введения иглы в параумбиликальную область создается карбоксиперитонеум. В ту же область вводится клапанный троакар. Через него вводится лапароскоп, проводится ревизия брюшной полости. Под контролем лапароскопа вводятся остальные троакары: 1 – субксифоидальная область, 2 – правое подреберье по срединно-ключичной линии, 3 – правое подреберье по передней подмышечной линии. В брюшную полость вводят специальный фиксатор для временной интерпозиции желчного пузыря (ФВИЖП). При помощи лапароскопического иглодержателя нить Vicryl 4.0 прошивается

дно желчного пузыря, передняя брюшная стенка до выхода иглы из полости. Нить натягивается и фиксируется зажимами у кожи. Таким образом, пузырь натягивается в церебральном направлении, и становится виден треугольник Кало [1–3].

Через второй, третий и четвёртый доступы начинается выделение шейки. Один лапароскопический зажим накладывается в области кармана Гартмана, затем коагуляционным крючком производят отделение шейки от ложа небольшими порциями с тракцией инструмента «на себя», чтобы не допустить перфорации. Для диссекции пузырного протока и пузырной артерии используют метод «хобот слона», достигается «критический взгляд на безопасность», при котором проводится аккуратная тракция за карман Гартмана, обнажая треугольник Кало. Монополярным крючком подковообразно вскрывают висцеральную брюшину, которую тупо отслаивают «пяткой» крючка по направлению к гепатодуоденальной связке [4].

После обнажения всех структур начинается этап клипирования. При помощи клипатора клипируют пузырную артерию: две клипсы накладывают проксимально, одну дистально. Также клипируют желчный проток. При наличии сомнений в пережатии просвета накладывают экстракорпоральные швы. При наличии добавочной артерии ее также клипируют. После пережатия между клипсами пересекают вышеназванные структуры [4, 5].

Далее электрохирургическим крючком выделяют пузырь из ложа. Ткани захватываются небольшими порциями и пересекаются в режиме монокоагуляции. После отделения пузыря его помещают в специальный контейнер и удаляют из брюшной полости. Проводят электрокоагуляционный гемостаз ложа, при необходимости впрыскивают гемостатический порошок. Дренирование ложа пузыря. Под контролем лапароскопа удаляют троакары, накладывают швы на кожу [5, 6].

Холецистэктомия через единый лапароскопический доступ. С 2007 г. начал набирать популярность метод SILS хирургии, базирующийся на принципе «Один разрез, несколько рабочих портов». В данном виде операции используются разные виды устройств доступа, например R-Port, Tri-Port, Quad-Port. В своем составе они имеют специализированные отверстия для лапароскопа и инструментов. Лапароскопические инструменты имеют специфическую структуру, так как могут изгибаться в разных направлениях, что обеспечивает их наилучшую работу [7].

В параумбиликальной области, на месте будущего разреза, ткани инфильтрируются раствором местного анестетика до появления «лимонной корки» у основания пупка, тем самым максимально приподнимая его дно. Делается разрез кожи в виде буквы «омега», обеспечивая хорошую визуализацию и косметический эффект. ПЖК отделяется до апоневроза, апоневроз рассекается. Края апоневротической раны прошиваются толстой атравматической нитью с двух сторон и подвешиваются на зажимы. Продляются разрезы на длину до 0,7 см в обе стороны, прямые мышцы живота раздвигаются тупым способом, брюшина вскрывается ножницами. В брюшную полость вводятся контейнер для удаления пузыря и ФВИ-ЖП [8].

На следующем этапе края SILS порта смазываются вазелиновым маслом и порт с помощью зажима Микулича вводится в брюшную полость. Ассистент крючком Фарабефа поднимает один из концов раны, а оперирующий хирург вводит порт по методу ноги в сапог. Накладывается карбоксиперитонеум, вводятся троакары. Дальнейший ход холецистэктомии ничем не отличается от обычной лапароскопической холецистэктомиии, за исключением лучшей мобильности инструментов. Ушивание послеоперационной раны осуществляется в поперечном направлении, подобно пластике пупочных грыж по Мейо [8, 9].

Трансвагинальная гибридная минилапароскопически-ассистированная холецистэктомия. Одним из направлений малоинвазивной хирургии является хирургия через естественные отверстия (NOTES – natural orifice transluminal endoscopic surgery). Основа метода заключается в том, что доступ в брюшную полость осуществляется через внутренние органы, то есть без разрезов на передней брюшной стенке – трансгастральный, трансанальный, трансвагинальный и др. При применении NOTES хирургии использовались гибкие эндохирургические инструменты, что составляло определенные сложности при выполнении тракции и диссекции. Поэтому современными учеными и хирургами предложена «гибридная» методика, которая заключается в использовании только одного прокола передней брюшной стенки в параумбиликальной области. Остальные проколы делаются через стенки внутренних органов. Основные преимущества данной операции по сравнению с другими: осуществление стабильной экспозиции, использование стандартного лапароскопического инструментария, свобода действия тракции и дистракции, визуализация кольпотомическо-

го разреза, безопасное закрытие доступа в брюшную полость. Данные операции будут рассмотрены на примере трансвагинального доступа [10].

Положение пациентки на операционном столе меняется несколько раз. На первом этапе больная лежит в горизонтальном положении, при помощи иглы Вереша накладывается карбоксиперитонеум, в пупочную область вводятся троакар и лапароскоп. Затем переводят в положение Трандаленбурга, матка становится в положение anteflexio, вследствие чего Дугласово пространство становится больше и уменьшается риск повреждения прямой кишки. Для входа в брюшную полость в области заднего свода влагалища выполняется кольпотомия. Под контролем лапароскопа вводится удлиненный троакар, проводится ревизия брюшной полости. И вводится третий троакар в правую подреберную область [10].

Для выполнения холецистэктомии пациентка переводится в положение Фаулера. Дальнейший ход операции проходит как рутинная лапароскопическая холецистэктомия. После клипирования и выделении пузыря из ложа его помещаются в пластиковый контейнер, переводят пациентку в положение Трандаленбурга и удаляют из полости через задний свод влагалища. На задний свод накладывается узловой шов атравматической нитью. [10, 11]

ЭРХПГ с ЭПСТ. Эндоскопическая ретроградная холангиопанкреатография – это диагностическая процедура, применяемая для диагностики опухолей гепатобилиарной системы, холедохолитиаза и многих других. При ее проведении используется эндоскоп с боковой оптикой, стандартные катетеры для канюляции большого дуоденального сосочка, рентген-контрастное вещество, ЭОП [12].

Пациент лежит на левом боку. Через ротовую полость вводится эндоскоп, после прохождения пилорической части желудка начинается осмотр двенадцатиперстной кишки. Ориентиром для Фатерова сосочка служит продольная складка, однако внешний вид и размеры самого соска могут быть разные. Непосредственно перед канюляцией катетер должен быть заполнен 0,9% NaCl, для предупреждения попадания воздуха в контрастируемые протоки. Для придания правильного положения используют подъемник. После канюляции необходимо узнать, в каком из протоков находится катетер. Вводят несколько миллилитров контрастного вещества, и выполняется рентгеноскопия. В качестве контрастного вещества используют водорастворимый сульфат бария. При правильной катетеризация и отсутствии препятствий, при рентгеноскопии видно контрастированный холедох, желчный пузырь, общий печёночный проток и внутрипеченочные протоки [13].

Эндоскопическая папиллосфинктеротомия является одной из частых лапароскопических операций при холедохолитиазе. Для ее проведения также необходим дуоденоскоп, источник диатермического тока, ЭОП, папиллотомы, при необходимости сфинктеротом. Техника операции и успех операции зависят от знания анатомии пилородуоденальной области, сфинктерного аппарата. Рассекают нижнюю, среднюю и часть верхней стенки сфинктера при помощи канюляционного и неканюляционного способами. Канюляционный способ представляет собой введение папиллотома у устья ампулы, с правильной ориентацией струны. Только небольшая часть струны должна находиться в контакте с мягкими тканями. Если большая масса тканей находится в тесном контакте со струной, то ток рассеивается, и сила приложения становится небольшой для рассечения. Папиллотомию проводят серией коротких импульсов в формате резание/коагуляция. Разрез при данной процедуре не должен выходить за пределы стенки ДПК, так как является проекцией интрамуральной части холедоха [13, 14].

Неканюляционным способом пользуются тогда, когда канюляция сосочка невозможна или неудачна. Как правило, имеет место быть вколоченный камень или стеноз БДС. Данный метод носит название супрапапиллярной холедоходуоденотомии. Цель ЭПСТ – восстановить отток желчи, при этом величина стома равна величине общего желчного протока [15].

Стентирование желчных протоков. Данный вид оперативного вмешательства применяется при механической желтухе, которая возникает в результате обтурации желчных протоков. Это патологическое состояние наиболее часто возникает в следующих случаях: рак желчного протока или холангиокарцинома, рак головки поджелудочной железы, калькулезный холецистит и многие другие. Стент представляет собой металлическую или пластиковую трубку с сетчатой стенкой, который может раскрываться до 6–10 мм в диаметре. В современной хирургии отдают предпочтение металлическим стентам, так как на них реже образуется бактериальная пленка, осаждается меньше желчи и они не требуют частой замены, в отличие от пластиковых [16, 17].

Перед началом операции проводят антибиотикопрофилактику препаратами широкого спектра действия. Положение

пациента лежа на спине. Вводим эндоскоп, доходим до двенадцатиперстной кишки, а именно до большого дуоденального сосочка. В него вводят тонкий канюлированный катетер и вводят контрастное вещество, тем самым выполняя процедуру ЭРХПГ. Находят суженный участок и вводят саморасширяющийся стент под рентген-контролем. Проводят санацию, проверяют проходимость и заканчивают операцию [18, 19].

Минилапаротомная холецистэктомия. В последние годы данный метод пользуется большей популярностью, чем стандартная открытая холецистэктомия. Применяется при невозможности проведения оперативного вмешательства лапароскопическим методом. Изобретатель данного способа – профессор И.Д. Прудков. Он описывает свое детище как «лапароскопически дополнительные операции с применением инструментов для манипулирования из мини-доступа». Уменьшение величины разреза не играет большой роли в ходе операции, за исключением наличия сопутствующих стриктур и спаек [20, 21].

Операция начинается с трансректального вертикального кожного разреза длиной до 3 см, начинающегося от края реберной дуги. Проводится послойный доступ к брюшной полости. На зажимах Микулича приподнимают брюшину, рассекают и подшивают узловыми швами к марлевым салфеткам. Устанавливается кольцевой раорасширитель Прудковского, затем ревизия правой подреберной области. Выполняется пункция желчного пузыря для исключения излития желчи в брюшную полость. Далее зажимом Дюваля захватывается желчный пузырь в области кармана Гартмана. Дальнейший ход операции ничем не отличается от открытой холецистэктомии от шейки [22, 23].

Чрескожная чреспеченочная холангиостомия. Данная процедура также проводится при помощи рентгенографического метода исследования. Первоначально проводят обезболивание кожи и подкожной клетчатки 1% раствором новокаина с применением методов седации пациента. Скальпелем делается надрез до 5 мм, тупым способом при помощи иглы Чиба под контролем УЗИ доходят до желчного пузыря. Метод УЗИ применяется, чтобы попасть в так называемое «акустическое окно», то есть минуя все кровеносные сосуды печени. Через пункционную иглу вводится контрастное вещество и выполняется рентгенография. Оценивается наличие конкрементов, обтурации, стриктуры, опухоли желчного пузыря и протоков [24, 25].

Через иглу проводят струну-проводник, иглу извлекают. Она имеет мягкие стенки, в результате чего отсутствуют повреждения желчных протоков. При помощи бужей расширяют просвет до нормальных размеров. Как только просвет расширен достаточно, проводится дренажная трубка, которая при попадании в желчный пузырь заворачивается в виде «поросячьего хвостика» [26, 27].

После установки дренажа струну извлекают, дренаж подшивают к коже и подсоединяют желчеприемник для сбора желчи.

Выводы

Приведенные виды операций являются одними из частей лечения заболеваний желчного пузыря и желчных протоков. Однако не во всех случаях пациенту показано лапароскопическое или эндоскопическое вмешательство. Тактика оперативного лечения должна определяться видом заболевания, состоянием пациента и наличием соответствующего оборудования.

Список литературы

1. Иманалиев М.Р., Нажмудинов З.З., Хандулаев Ш.М. Эндоскопические методы диагностики и лечения патологии желчевыводящих путей // Альм. института хирургии им. А.В. Вишневского. 2017 г. № 1. Тезисы национального хирургического конгресса совместно с XX юбилейным съездом РОЭХ 4–7 апреля 2017. М., 2017. С. 1319–1320.

2. Михин И.В., Кухтенко Ю.В., Косивцов О.А. и др. Дифференцированный подход к выбору варианта малоинвазивного хирургического лечения пациентов, страдающих разными формами калькулезного холецистита // Эндоскопическая хирургия. 2014. Т. 20. № 1. С. 3–8.

3. Шевела А.И., Анищенко В.В., Гмыза С.В. Пути оптимизации малоинвазивной холецистэктомии // Медицина и образование в Сибири. 2012. № 6. С. 6.

4. Пучков К.В., Хубезов Д.А., Пучков Д.К., Родимов С.В. Миниинвазивные лапароскопические методики лечения заболеваний желчного пузыря: учебное пособие для врачей-хирургов // ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России. Рязань: РИО РязГМУ, 2015. 115 с.

5. Пучков К.В., Пучков Д.К. Хирургия желчнокаменной болезни: лапароскопия, минилапароскопия, единый порт, трансанальный доступ, симультанные операции. М.: ИД «МЕДПРАКТИКА-М», 2017, 312 с.

6. Bulian, D.R., Knuth, J., Cerasani, N., Lange. J, Ströhlein M.A., Sauerwald A., Heiss M.M. Erratum to: Transvaginal hybrid NOTES cholecystectomy results of a randomized clinical trial after 6 months. Langenbecks Arch Surg404, 25 (2019).

7. Siddaiah-Subramanya M., Tiang K.W., Nyandowe M. A new era of minimally invasive surgery: progress and development of major technical innovations in general surgery over the last decade. Surg J (N Y). 2017. Vol. 3. P. e163-e166.

8. Arezzo A., Passera R., Bullano A., Mintz Y., Kedar A., Boni L., Cassinotti E., Rosati R., Fumagalli Romario U., Sorrentino M., Brizzolari M., Di Lorenzo N., Gaspari A.L., Andreone D., De Stefani E., Navarra G., Lazzara S., Degiuli M., Shishin K., Khatkov I., Kazakov I., Schrittwieser R., Carus T., Corradi A., Sitzman G,. Lacy A., Uranues S., Szold A. Morino Multi-port versus single-port cholecystectomy: results of a multi-centre, randomised controlled trial (MUSIC trial). Surg. Endosc. 2017. Vol. 31. P. 2872–2880.

9. Sinan H., Saydam M., Demir P., Ozer M.T., Demirbas S. Comparison of single-incision and conventional laparoscopic cholecystectomy in terms of quality of life, body image, and cosmesis. Niger J. Clin. Pract. 2019. Vol. 22. P. 521–526.

10. Qu J.W., Xin C., Wang G.Y., Yuan Z.Q., Li K.W. Feasibility and safety of single-incision laparoscopic cholecystectomy versus conventional laparoscopic cholecystectomy in an ambulatory setting. Hepatobiliary Pancreat Dis. Int. 2019. Vol. 18. P. 273–277.

11. Hirano Y., Watanabe T., Uchida T., Yoshida S., Tawaraya K., Kato H., Hosokawa O. Single-incision laparoscopic cholecystectomy: single institution experience and literature review. World J. Gastroenterol. 2010, Jan 14. Vol. 16. № 2. P. 270–274.

12. Curcillo P.G. 2nd, Wu A.S., Podolsky E.R., Graybeal C., Katkhouda N., Saenz A., Dunham R., Fendley S., Neff M., Copper C., Bessler M., Gumbs A., Norton M., Iannelli A., Mason R., Moazzez A., Cohen L., Mouhlas A., Poor A. Single-port-access (SPA) cholecystectomy: a multi-institutional report of the first 297 cases. Surg Endosc. 2010, Aug. Vol. 24. № 8. P. 1854–1860.

13. Старков Ю.Г., Шишин К.В., Солодинина Е.Н. Транслюминальная (трансвагинальная) холецистэктомия: первый опыт // Эндоскопическая хирургия. 2009. № 1. С. 200–201.

14. Aprea G., Bottazzi E.C., Guida F., Masone S., Persico G. Laparoendoscopic single site versus classic video-laparoscopic cholecystectomy: a randomized prospective study. J. Surg. Res. 2011. No. 166 (2). P. 109–112.

15. Langwieler T.E., Nimmesgern T., Back M. Singleport access in laparoscopic cholecystectomy. Surg. endosc. 2009. No. 23 (5). P. 1138–1141.

16. McGregor C.G., Sodergren M., Aslanyan A., Wright V., Purkayastha S., Darzi A., Paraskeva P. Evaluating systemic stress response in single port vs. multi-port laparoscopic cholecystectomy. J. Gastrointest. Surg. 2011. No. 15 (4). P. 614–622.

17. Хрусталева М.В., Шатверян Д.Г., Годжелло Э.А. Эндоскопическое доуденобилиарное дренирование в лечении опухолевых стенозов панкреатобилиарной зоны // Клин. и эксперимент. хир. Журн. им. акад. Б.В. Петровского. 2014. № 3. С. 90–98.

18. Choi J.M., Kim J.H., Kim S.S., Yu J.H., Hwang J.C., Yoo B.M., Park S.H., Kim H.G., Lee D.K., Ko K.H., Yoo K.S., Park do H. A Comparative Study on the Efficacy of Covered Metal Stent and Plastic Stent in Unresectable Malignant Biliary Obstruction. Clin Endosc – 2012. Vol. 45. P. 78–83.

19. Jaganmohan S., Lee J.H. Self-expandable metal stents in malignant biliary obstruction. Expert Rev. Gastroenterol Hepatol. 2012. Т. 6. № 1. P. 105–114.

20. Biliary stenting: indications, choice of stents and results. European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) clinical guidelineю Dumonceau J.-M. Endoscopy. 2012. Vol. 44. P. 277–298.

21. Назыров Ф.Г., Акбаров М.М., Омонов О.А., Икрамов А.И. Чрескожные эндобилиарные вмешательства в хирургическом лечении больных с проксимальными опухолями желчных протоков // Медицинская визуализация. 2011. № 1. С. 23–27.

22. Охотников О.И., Яковлева М.В., Григорьев С.Н. Антеградные эндобилиарные вмешательства при нерасширенных желчных протоках. // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2016. С. 42–47.

23. Кулезнева Ю.В. Чрескожные вмешательства в абдоминальной хирургии. М.: «ГЭОТАР-Медиа», 2016. С. 78.

24. Тищенко А.М., Авдосьев Ю.В., Брицкая Н.Н., Лаврентьева О.Ю. Комплексное лечение холангиоцеллюлярного рака, осложненного механической желтухой // Украинский журнал хирургии 2017. № 1 (32). С. 23–26, 42–47.

25. Шабунин А.В., Тавобилов М.М. Выбор способа декомпрессии желчных протоков в лечении больных механической желтухой опухолевого генеза // Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова. 2016. № 24 (1). С. 68–74.

26. Соловьев И.А., Суров Д.А., Рухлядова Н.В., Дымников Д.А., Лычев А.Б., Савченков Д.К., Галиуллин Р.И. Значение антеградных эндобилиарных вмешательств в лечении механической желтухи опухолевого генеза // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2016. № 11 (2). С. 44–48.

27. Раимжанова А.Б. Сравнительная оценка различных способов холецистэктомии // Наука и Здравоохранение. 2016. № 1. С. 40–53.

УДК 616.36-006

ФАКТОРЫ РИСКА И МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕПАТОБЛАСТОМЫ

Щеголев А.И., Туманова У.Н.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, e-mail: ashegolev@oparina4.ru

Гепатобластома является наиболее частой злокачественной опухолью печени у детей в возрасте до 5 лет, составляя 91% от всех первичных злокачественных новообразований печени. Проведен анализ данных литературы, посвященных факторам риска и морфологическим характеристикам гепатобластомы. Подчеркнуто, что в трети наблюдений гепатобластома сочетается с различными врожденными аномалиями развития и хромосомными патологиями. К факторам риска развития гепатобластомы относятся недоношенность и очень низкая (менее 1500 г) масса тела при рождении, преэклампсия и многоводие, а также длительное воздействие красок, нефти, угольных продуктов на матерей до и во время беременности. Точная диагностика гепатобластомы возможна лишь при микроскопическом исследовании гистологических препаратов биопсийного или операционного материала. В зависимости от гистологического строения гепатобластомы выделяют два основных ее типа: эпителиальные и эпителиально-мезенхимальные гепатобластомы. Представлены основные микроскопические признаки эпителиально-мезенхимальной гепатобластомы и различных вариантов эпителиальной гепатобластомы: фетального (с низкой митотической активностью и митотически активного), эмбрионального, мелкоклеточного недифференцированного, плеоморфного, холангиобластного, макротрабекулярного и смешанного. Отмечено, что гепатобластома развивается в печени без признаков цирроза. Для дифференциальной диагностики и верификации типа гепатобластомы рекомендуется проведение иммуногистохимического исследования в целях выявления альфа-фетопротеина, глипикана 3, Hepar-1, INI-1, бета-катенина, глютаминсинтетазы, виментина и цитокератинов.

Ключевые слова: печень, гепатобластома, факторы риска, микроскопия, иммуногистохимия

RISK FACTORS AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HEPATOBLASTOMA

Shchegolev A.I., Tumanova U.N.

National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation, Moscow, e-mail: ashegolev@oparina4.ru

Hepatoblastoma is the most common malignant liver tumor in children under 5 years of age and accounts for 91% of all primary liver malignancies. The analysis of literature data on risk factors and morphological characteristics of hepatoblastoma was carried out. It is emphasized that hepatoblastoma is combined with various congenital malformations and chromosomal pathologies in a third of all cases. Risk factors for hepatoblastoma include prematurity and very low birth weight (less than 1500 g), preeclampsia, polyhydramnios, as well as prolonged exposure to paints, oil, coal products on mothers before and during pregnancy. Accurate diagnosis of hepatoblastoma is possible only with microscopic examination of histological preparations of biopsy or surgical material. Depending on the histological structure of hepatoblastoma, there are two main types: epithelial and epithelial-mesenchymal. The main microscopic signs of epithelial-mesenchymal hepatoblastoma and various variants of epithelial hepatoblastoma: fetal (with low mitotic activity and mitotically active), embryonic, small-cell undifferentiated, pleomorphic, cholangioblast, macrotrabecular and mixed are presented. It is noted that hepatoblastoma develops in the liver without signs of cirrhosis. An immunohistochemical study is recommended to detect alpha-fetoprotein, glypican 3, Hepar-1, INI-1, beta-catenin, glutamine synthetase, vimentin and cytokeratins for differential diagnosis and verification of the type of hepatoblastoma.

Keywords: liver, hepatoblastoma, risk factors, microscopy, immunohistochemistry

Первичные злокачественные новообразования печени составляют 0,5–2% от всех солидных опухолей у детей [1]. Среди них наиболее часто определяется гепатобластома [2], ежегодные показатели заболеваемости которой составляют в США 3,1 на 1 млн детей в возрасте до 14 лет [3]. В зависимости от гистологического строения выделяют два основных типа гепатобластом, которые, в свою очередь, подразделяют на варианты [4]. По данным литературы [5, 6], некоторые гистологические варианты гепатобластом лежат в основе выбора тактики лечения и коррелируют с прогнозом заболевания.

Цель работы: анализ данных литературы о факторах риска развития гепатобластомы и основных морфологических характеристиках ее различных вариантов.

Согласно результатам эпидемиологических исследований, в большинстве случаев гепатобластома у людей встречается до 5-летнего возраста, пик заболеваемости приходится на первые два годы жизни. Так,

в возрасте до 1 года частота гепатобластомы составляет 10,5 наблюдений на 1 млн детей соответствующего возраста и 5,2 – в возрасте 1–4 года [7]. У детей старше 5 лет гепатобластома встречается очень редко (1 случай на 10 млн детей в возрасте от 5 до 9 лет) [7], в единичных случаях она определяется и у взрослых пациентов [8, 9]. Примечательно, что у маленьких детей гепатобластома чаще встречается у мальчиков по сравнению с девочками (соотношение 2:1), в то время как у детей старшего возраста половые различия отсутствуют [10].

Для сравнения – среди пациентов моложе 5 лет 91% от всех первичных злокачественных новообразований печени приходится на гепатобластому, в возрасте от 15 до 19 лет 87% случаев составляет гепатоцеллюлярная карцинома [11]. У взрослых доля гепатоцеллюлярной карциномы варьирует в пределах 85–95% [9].

В то же время необходимо отметить увеличение частоты встречаемости гепатобластомы. Так, в США общий уровень заболеваемости гепатобластомой у детей увеличился с 2,59 на 1 млн в 1975–1979 гг. до 5,27 на 1 млн в 1995–1999 гг. (ежегодный рост заболеваемости составил 3,9%) [7].

Точные причины развития гепатобластомы, к сожалению, не установлены. Ранее существовала точка зрения, что гепатобластома является врожденной опухолью, поскольку примерно в трети наблюдений она сочетается с различными врожденными аномалиями развития и хромосомными патологиями. Среди последних описаны синдромы Беквита–Видемана (Beckwith–Wiedemann), Гарднера (Gardner), Гольденхара (Goldenhar), Бадда–Киари (Budd–Chiari), Дауна, а также гемигипертрофия, аплазия надпочечника, двусторонняя косолапость, семейный аденоматозный полипоз, врожденная диафрагмальная грыжа, подковообразная почка, удвоение мочеточника, меккелев дивертикул [9].

Согласно результатам молекулярно-биологических исследований установлено, что примерно в 70% наблюдений гепатобластомы определяются мутации бета-катенина (CTNNB1) сигнального пути Wnt, реже – также мутации NRAS и гена APC [12]. Помимо данных путей для развития клеток гепатобластомы, установлены изменения Sonic Hedgehog, Notch, Hepatocyte GrowthФактор / c-Met (активация передачи сигналов PI3K / AKT и MAPK), инсулин-Путь типа фактора роста (IGF) [13]. Генетическими методами и при помощи кариотипирования выявлены нарушения хромосом: трисомии хромосом 2, 8 и 20, а также дислокации и дупликации 1q, 4q, 2 и 22 [14].

Согласно данным литературы, к факторам риска развития гепатобластомы относятся недоношенность и очень низкая (менее 1500 г) масса тела при рождении [15]. Преэклампсия, многоводие, большая масса тела матери до беременности и лечение бесплодия также коррелируют с более высокой частотой встречаемости гепатобластомы у детей [11].

Имеются также указания на более высокую частоту развития гепатобластомы у детей, матери которых находились под длительным профессиональным воздействием красок или пигментов (отношение шансов 3,7), нефти и угольных продуктов (отношение шансов 3,7), металлов (отношение шансов 7,0) и пластмассы (отношение шансов 2,19) [16]. В качестве возможного звена онкогенеза следует рассматривать трансплацентарное попадание химических веществ в печень и последующий их метаболизм гепатоцитами. К сожалению, риск развития гепатобластомы, равно как и других карцином печени, повышен у детей, матери которых курили [17].

Решающим методом диагностики, определяющим тактику лечения, является морфологическое исследование. По мнению Japanese Study Group for Pediatric Liver Tumors (JPLT), лечение опухолей печени у детей рекомендуется начинать только после морфологической верификации вида опухоли в биопсийном материале, за исключением неотложных угрожающих жизни состояний (при инвазии опухоли в правое предсердие или разрыве опухоли) [18].

Точный онкогенез гепатобластомы не установлен. При этом еще в 1996 г. P. Ruck с соавт. [19] установили, что как эпителиальные, так и мезенхимальные элементы гепатобластомы являются опухолевыми, происходящими из общего предшественника – стволовой клетки. Еще раньше, в 1987 г., M. Tsao и J.W. Grisham [20] при культивировании химически трансформированных эпителиальных клеток крыс получили опухоль с признаками гепатобластомы, что указывает на возможность разнонаправленного дифференцировочного потенциала эпителиальных клеток печени.

Вместе с тем отмечено, что гепатобластома развивается преимущественно в печени без признаков цирроза в виде солитарного образования, окруженного псевдокапсулой. В отдельных случаях гепатобластома имеет многоузловое строение. Вид опухоли на разрезе зависит от микроскопического строения. Опухоли, представленные эпителиальным компонентом, как правило, однородного зеленовато-коричневатого цвета. Опухоли, состоящие из эпителиального и мезенхимального компонентов, обычного

пестрого вида, в том числе за счет наличия участков кровоизлияний и некроза.

В зависимости от гистологического строения гепатобластомы выделяют два основных ее типа: эпителиальные и эпителиально-мезенхимальные, которые, в свою очередь, подразделяют на различные варианты. Согласно современной международной классификации опухолей печени, выделяют следующие гистологические типы и варианты гепатобластомы (табл. 1) [4].

Действительно, по своему строению гепатобластомы могут быть представлены только эпителиальными (56–67% наблюдений) или смешанными, эпителиально-мезенхимальными (33–44% наблюдений) элементами. В свою очередь, гепатобластомы, построенные из эпителиальных клеток, делятся на несколько типов (табл. 1).

Фетальная (плодная) гепатобластома, составляющая порядка 30% опухолей, представлена клетками, напоминающими гепатобласты плода в эмбриональном периоде и формирующими пласты либо трабекулы толщиной в 1–2 клетки [2 из 2017 Sharma]. Сами опухолевые клетки полигональной формы диаметром 10–20 мкм с округлыми центрально расположенными ядрами, имеющими четкую ядерную мембрану и мелкогранулярный хроматин с плохо заметным ядрышком. Цитоплазма клеток выглядит обычно просветленной за счет включений гликогена или липидов. Характерным признаком является наличие гемопоэтических клеток, отражающих процессы экстрамедуллярного кроветворения.

При этом выделяют два микроскопических варианта фетальной гепатобластомы: высокодифференцированный (чистый, свободный) и так называемый переполненный. Данные варианты отличаются по уровню митотической активности опухолевых клеток: на гистологических препаратах высокодифференцированной (чистой) фетальной гепатобластомы отмечается менее 2 митозов в 10 полях зрения при большом (х400) увеличении микроскопа, а на препаратах переполненной гепатобластомы – 2 и более митозов в 10 полях зрения [21]. Помимо бóльшего количества митозов, для второго варианта характерным микроскопическим признаком является также наличие в опухолевых клетках крупных ядер, создающих картину бóльшего ядерно-цитоплазматического соотношения и соответственно переполненности ткани. При этом в ядрах отмечаются четкие крупные ядрышки.

Важно, что для свободного варианта фетальной гепатобластомы радикальным видом лечения считается резекция новообразования, тогда как пациентам с переполненным вариантом фетальной гепатобластомы необходимо дополнительное проведение адьювантной химиотерапии [22].

Плеоморфный (полиморфный) тип эпителиальной гепатобластомы отмечается преимущественно у пациентов после химиотерапевтического лечения. Хотя плеоморфный характер эпителиального компонента чаще ассоциируется с плодной гепатобластомой, он также может наблюдаться и при эмбриональной гепатобластоме. При этом опухолевые клетки имеют вид плодных или эмбриональных клеток (полигональная форма, насыщенная эозинофильная цитоплазма), но с крупными ядрами, содержащими четкие ядрышки и крупные глыбки хроматина. Достаточно часто отмечаются крупные, в 3–4 раза больше обычных, опухолевые клетки и большое количество митозов, но не патологических. При этом наличие участков с макротрабекулярным строением может напоминать картину гепатоцеллюлярной карциномы, что нашло отражение в обозначении таких участков как подобных гепатоцеллюлярной карциноме или анапластических фетальных и требует изучения бóльшего количества препаратов.

Таблица 1

Гистологические типы и варианты гепатобластомы

Эпителиальные	фетальная с низкой митотической активностью (высокодифференцированная)
	фетальная, митотически активная
	плеоморфная
	эмбриональная
	мелкоклеточная недифференцированная – INI-1 негативная – INI-1 позитивная
	холангиобластная
	макротрабекулярная
	смешанная эпителиальная
Смешанные эпителиально-мезенхимальные	без тератоидного компонента
	с тератоидным компонентом

Таблица 2

Иммуногистохимические характеристики различных типов гепатобластомы

Маркер	Плодная		Эмб	Пл	МкНД	Хб	МезК
	ВД	Пп					
АФП	–	+	+	+	–	+	–
Глипикан-3	+	+	+	+	–	–	–
Бета-катенин	+ (я)	+ (я)	+ (я)	+ (я)	+ (я)	вар	+ (я)
ГС	+	+	вар	вар	–	–	–
Hepar-1	+	+	-	вар	–	–	–
INI-1	+	+	+	+	-	+	+
СК 7	–	–	–	–	–	+	вар
СК 19	–	–	–	–	–	+	–
Виментин	–	–	–	–	+	–	+

Примечания: ВД – высокодифференцированная, Пп – переполненная, Пл – плеоморфная, Эмб – эмбриональная, МкНД – мелкоклеточная недифференцированная, Хб – холангиобластная, МезК – мезенхимальный компонент, АФП – альфа-фетопротеин, ГС – глютаминсинтетаза, + – положительная реакция (окрашивание), – – отрицательная реакция (нет окрашивания), я – ядерная локализация, вар – варьирование реакции.

Эмбриональный тип гепатобластомы, являющийся наиболее часто встречающимся, по своему микроскопическому строению напоминает печень плода на сроках 6–8 недель гестации. Опухолевые клетки округлой или изогнутой формы, диаметром 10–15 мкм, с высоким ядерно-цитоплазматическим соотношением обычно формируют тубулярные или ацинарные структуры с центрально расположенным просветом.

Мелкоклеточная недифференцированная гепатобластома состоит из мелких недифференцированных клеток округлой или овальной формы, размеры которых несколько больше, чем лимфоцитов, и составляют в среднем 7–8 мкм. Цитоплазма клеток скудная, в ядрах наблюдаются мелкие гранулы хроматина и плохо заметное ядрышко, митозов мало. В отдельных наблюдениях могут отмечаться участки миксоматозной стромы. Ранее такие новообразования обозначались термином «анапластическая опухоль». В настоящее время мелкоклеточная недифференцированная гепатобластома составляет порядка 3–5% от всех гепатобластом. Она характеризуется агрессивным течением и низким уровнем выживаемости [23].

Холангиобластный вариант гепатобластомы диагностируется при выявлении признаков холангиоцитарной дифференцировки в виде мелких протоковых структур, имеющих положительную реакцию с цитокератинами 7 и 19 и отрицательную с глипиканом.

Макротрабекулярный тип гепатобластомы, составляющий порядка 5%, определяется при наличии в опухолевой ткани пластин, представленных более 20 клетками. При этом сами клетки могут фетальными, эмбриональными, полиморфными гепатобластами или напоминать клетки гепатоцеллюлярной карциномы. Соответственно опухоли, построенные из клеток, подобных гепатоцеллюлярной карциноме, составляют так называемый вариант МТ-1, а представленные фетальными и/или эмбриональными клетками – вариант МТ-2. Первый вариант, подобный гепатоцеллюлярной карциноме, характеризуется более неблагоприятным прогнозом.

Смешанная эпителиально-мезенхимальная гепатобластома наряду с вышеописанными эпителиальными опухолевыми клетками содержит мезенхимальные компоненты в виде фибробластической стромы, мышцы, хряща, костной ткани. Остеоид наиболее часто отмечается в опухолях больных после химиотерапевтического лечения. В случаях выявления гетерологичных компонентов эндодермы, эктодермы и/или меланинсодержащих клеток говорят о смешанной гепатобластоме с тератоидным компонентом.

Для дифференциальной диагностики и морфологической верификации типа гепатобластомы рекомендуется проведение иммуногистохимического исследования (табл. 2). В качестве основных маркеров следует использовать альфа-фетопротеин, глипикан 3, Hepar-1, INI-1, бета-катенин, глютаминсинтетазу, виментин и цитокератин (панцитокератин) [4].

Положительная экспрессия альфа-фетопротеина наблюдается в эпителиальных клетках. В мезенхимальном компоненте, а также в участках мелкоклеточной не-

дифференцированной гепатобластомы окрашивание отсутствует. Кроме того, в отдельных наблюдениях фетальной высокодифференцированной и макротрабекулярной гепатобластомы также может отмечаться отрицательная экспрессия. Напротив, HepPar-1 считается маркером фетальной гепатобластомы. Глипикан 3 также является маркером опухолевого эпителиального компонента, отсутствуя при этом в нормальных гепатоцитах. К сожалению, положительная экспрессия глипикана-3 не позволяет дифференцировать гепатобластомы от гепатоцеллюлярной карциномы. Тем не менее мелкозернистое цитоплазматическое окрашивание глипиканом 3 характерно для фетальной высокодифференцированной гепатобластомы, в то время как крупноглыбчатое цитоплазматическое окрашивание – для фетального переполненного и эмбрионального типов гепатобластомы и гепатоцеллюлярной карциномы.

Бета-катенин как маркер активированного пути Wnt характеризуется как ядерной, так и диффузной цитоплазматической экспрессией в опухолевых клетках эпителиального и мезенхимального компонентов гепатобластомы. В нормальных же гепатоцитах и холангиоцитах отмечается мембранное окрашивание. Глютаминсинтетаза, также являющаяся маркером активации пути Wnt, имеет высокую экспрессию в клетках фетального типа и умеренную при эмбриональном и мелкоклеточном недифференцированном типах гепатобластомы. В опухолевых клетках обычно отмечается положительная реакция с цитокератинами 8 и 18. Цитокератины 7 и 19, как правило, не выявляются в эпителиальном и мезенхимальном компонентах гепатобластомы, но наблюдаются в участках мелкоклеточной недифференцированной гепатобластомы. При этом в последних в ряде наблюдений отсутствует экспрессия INI 1, что легло в основу выделения двух вариантов мелкоклеточной недифференцированной гепатобластомы (INI 1 негативной и INI 1 позитивной). По мнению P. Russo с соавт. [24], пациенты с INI 1 негативным вариантом, характерным также для рабдоидных злокачественных опухолей, должны быть направлены на дальнейшее выявление хромосомных мутаций и делеций.

Вышеизложенные особенности строения гепатобластомы отражаются и на лучевых характеристиках новообразований [25]. При компьютерно-томографическом (КТ) исследовании большинство новообразований имели округлую форму с четкими границами. После введения контрастного вещества отмечалось неоднородное повышение контрастности новообразования в виде гиперинтенсивных узлов или полос в центре и по периферии в артериальную фазу. В последующем, по мере роста новообразования, оно характеризуется увеличением размеров и слиянием гиперденсных участков, но постепенным уменьшением степени контрастности в портальную и отсроченную фазы исследования. При этом в отсроченную фазу большинство новообразований характеризовалось наличием множественных участков с периферическим гиперденсным сигналом [26, 27]. Именно подобные КТ-характеристики лежат в основе дифференциальной диагностики гепатобластомы с гепатоцеллюлярным раком.

Для гепатоцеллюлярной карциномы при КТ-исследовании характерны сплошное повышение контрастности опухолевого узла в артериальную фазу и уменьшение его контрастности по сравнению с окружающей паренхимой печени в венозную фазу исследования [28]. При этом степень изменения контрастности в виде увеличения интенсивности сигнала (гиперваскулярности) в артериальную фазу КТ-исследования зависит от размеров опухолевого узла [29] и степени гистологической дифференцировки опухоли [30, 31]. Следует также добавить, что гепатоцеллюлярная карцинома чаще выявляется на фоне цирроза печени, а гепатобластома, наоборот, развивается, как правило, в ткани печени без признаков цирроза.

Таким образом, комплексное гистологическое и иммуногистохимическое исследование закономерно считается основным методом диагностики гепатобластомы с определением ее типа и варианта строения. Именно морфологическое исследование позволяет проводить объективную биопсийную диагностику новообразования, способствуя определению тактики лечения и прогноза заболевания.

Список литературы

1. Cawich S.O., Johnson P.B., Shah S., Roberts P., Arthurs M., Murphy T., Bonadie K.O., Crandon I.W., Harding H.E., Abu Hilal M., Pearce N.W. Overcoming obstacles to establish a multidisciplinary team approach to hepatobiliary diseases: a working model in a Caribbean setting. J. Multidiscip. Healthc. 2014. V. 7. P. 227–230. DOI: 10.2147/JMDH.S60604.

2. Рыков М.Ю., Севрюков Д.Д., Вилкова А.С. Злокачественные новообразования у детей: клинические проявления и диагностика // Вопросы современной педиатрии. 2017. № 5. С. 370–382. DOI: 10.15690/vsp.v16i5.1801.

3. Czauderna P., Lopez-Terrada D., Hiyama E., Haberle B., Malogolowkin M.H., Meyers R.L.. Hepatoblastoma state of the art: pathology, genetics, risk stratification, and chemotherapy. Curr. Opin. Pediatr. 2014. V. 26. P. 19–28. DOI: 10.1097/MOP.0000000000000046.

4. Saxena R., Quaglia A. Hepatoblastoma // WHO Classification of Tumours. Digestive System Tumours. 5th Edition. WHO press, 2019. P. 240–244.

5. Hubbard A.K., Spector L.G., Fortuna G., Marcotte E.L., Poynter J.N. Trends in International Incidence of Pediatric Cancers in Children Under 5 Years of Age: 1988–2012. JNCI Cancer Spectr. 2019. V. 3. pkz007. DOI: 10.1093/jncics/pkz007.

6. Пименов Р.И., Керимов П.А., Казанцев А.П., Рубанская М.В., Рубанский М.А., Близнюков О.П., Михайлова Е.В., Михайлова С.Н., Никулина А.Л., Малахова А.А., Сагоян Г.Б., Капкова О.А., Рыбакова Д.В., Варфоломеева С.Р., Поляков В.Г. Лечение детей с гепатобластомой группы очень низкого риска по классификации Children's Hepatic tumors International Collaboration: серия клинических наблюдений // Российский журнал детской гематологии и онкологии. 2020. № 1. С. 12–21. DOI: 10.21682/2311-1267-2020-7-1-12-21.

7. Spector L.G., Birch J. The epidemiology of hepatobalstoma. Pediatr. Blood Cancer. 2012. V. 59. P. 776-779.

8. Celotti A., D'Amico G., Ceresoli M., Tomasoni M., Raimondo S., Baggi P., Baiocchi G.L. Hepatoblastoma of the adult: A systematic review of the literature. Surg. Oncol. 2016. V. 25. P. 339–347. DOI: 10.1016/j.suronc.2016.07.003.

9. Щеголев А.И., Мишнёв О.Д. Онкоморфология печени. М.: Издательство РГМУ, 2006. 252 с.

10. Matkowskyj K.A., Rao M.S., Yang G.-Y. Pathologic features of primary and metastatic hepatic malignancies. Gastrointestinal malignancies. Eds. D. Bentrem and A.B. Benson. Springer International Publishing Switzerland. 2016. P. 257–293.

11. Pateva I.B., Egler R.A., Stearns D.S. Hepatoblastoma in an 11-year-old. Case report and a review of the literature. Medicine (Baltimore). 2017. V. 96. e5858. DOI: 10.1097/MD.0000000000005858.

12. Nicolle D., Fabre M., Simon-Coma M., Gorse A., Kappler R., Nonelli L. Patient derived xenografts from pediatric liver cancer predict tumor recurrence and advise clinical management. Hepatology. 2016. V. 64. P. 1121–1135. DOI: 10.1002/hep.28621.

13. Adesina A.M., Lopez-Terrada D., Wong K.K., Gunaratne P., Nguyen Y., Pulliam J., Margolin J., Finegold M.J. Gene expression profiling reveals signatures characterizing histologic subtypes of hepatoblastoma and global deregulationin cell growth and survival pathways. Hum. Pathol. 2009. V. 40. P. 843–853. DOI: 10.1016/j.humpath.2008.10.022.

14. Tomlinson G.E., Douglass E.C., Pollock B.H., Finegold M.F., Schneider N.R. Cytogenetic evaluation of a large series of hepatoblastomas: numerical abnormalities with recurring aberrations involving 1q12-q21. Genes Chromosomes Cancer. 2005. V. 44. P. 177–184. DOI: 10.1016/j.jpeds.2011.08.068.

15. Reyes J.D., Carr B., Dvorchik I., Kocoshis S., Jaffe R., Gerber D., Mazariegos G.V., Bueno J., Selby R. Liver transplantation and chemotherapy for hepatoblastoma and hepatocellular cancer in childhood and adolescence. J. Pediatr. 2000. V. 136. P. 795–804.

16. Janitz A.E., Ramachandran G., Tomlinson G.E., Krailo M., Richardson M., Spector L. Maternal and paternal occupational exposures and hepatoblastoma: results from the HOPE study through the Children's Oncology Group (COG). J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. 2017. V. 27. P. 359–364. DOI: 10.1038/jes.2017.1.

17. Щеголев А.И., Туманова У.Н., Мишнёв О.Д. Факторы риска развития гепатоцеллюлярной карциномы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 9. С. 164–169.

18. Nitta A., Hisamatsu S., Fukuda H., Kurosawa H., Arisaka O. Cardiopulmonary arrest on arrival in an infant due to ruptured hepatoblastoma. J. Pediatr. 2012. V. 160. P. 35. DOI: 10.1016/j.jpeds.2011.08.068.

19. Ruck P., Xiao J.C., Kaiseling E. Small epithelial cells and histogenesis of hepatoblastoma. Electron-microscopic, immuno-electronmiroscopic and immunohistochemical findings. Am. J. Pathol. 1996. V. 148. P. 321–329.

20. Tsao M., Grisham J.W. Hepatocarcinomas, cholangiocarcinomas and hepatoblastomas produced by chemically transformed cultured rat liver epithelial cells. A light and electronmicroscopic analysis. Am. J. Pathol. 1987. V. 127. P. 168–181.

21. Weinberg A.G., Finegold M.J. Primary hepatic tumors of childhood. Hum. Pathol. 1983. V. 14. P. 512–537. DOI: 10.1016/s0046-8177(83)80005-7.

22. Malogolowkin M.H., Katzenstein H.M., Meyers R.L. Complete surgical resection is curative for children with hepatoblastoma with pure fetal histology: a report from the Children's Oncology Group. J. Clin. Oncol. 2011. V. 29. P. 3301–3306. DOI: 10.1200/JCO.2010.29.3837.

23. Trobaugh-Lotrario A.D., Tomlinson G.E., Finegold M.J., Gore L., Feusner J.H. Small cell undifferentiated variant of hepatoblastoma: adverse clinical and molecular features similar to rhabdoid tumors. Pediatr. Blood Cancer. 2009. V. 52. P. 328–334. DOI: 10.1002/pbc.21834.

24. Russo P, Biegel J.A. SMARCB1/INI1 alterations and hepatoblastoma: another extrarenal rhabdoid tumor revealed? Pediatr. Blood Cancer. 2009. V. 52. P. 312–313. DOI: 10.1002/pbc.21893.

25. Акинфиев Д.М., Бахмутова Е.Е., Беляков Г.А. и др. Лучевая диагностика и малоинвазивное лечение механической желтухи. М.: Радиология-пресс, 2010. 259 с.

26. Li L., Liu W., Wen R., Jin K. Computed tomography imaging and clinical features of congenital hepatoblastoma: a retrospective analysis. Medicine (Baltimore). 2020. V. 99. e21174. DOI: 10.1097/MD.0000000000021174.

27. Tang M., Li Y. Lin Z, Shen B., Huang M., Li Z.-P., Li X. Feng S.-T. Hepatic nodules with arterial phase hyperenhancement and washout on enhanced computed tomography/magnetic resonance imaging: how to avoid pitfalls. Abdom Radiol (NY). 2020. V. 45. P. 3730–3742. DOI: 10.1007/s00261-020-02560-0.

28. Туманова У.Н., Кармазановский Г.Г., Щеголев А.И. Система LI-RADS при компьютерно-томографической диагностике гепатоцеллюлярного рака // Медицинская визуализация. 2014. № 6. С. 44–50.

29. Туманова У.Н., Кармазановский Г.Г., Дубова Е.А., Щёголев А.И. Сравнительный анализ степени васкуляризации гепатоцеллюлярного рака и очаговой узловой гиперплазии печени по данным компьютерно-томографического и морфологического исследований // Вестник Российской академии медицинских наук. 2013. № 12. С. 9–15.

30. Туманова У.Н., Кармазановский Г.Г., Щеголев А.И. Денситометрические характеристики гепатоцеллюлярного рака при спиральной компьютерной томографии // Медицинская визуализация. 2012. № 6. С. 42–49.

31. Туманова У.Н., Кармазановский Г.Г., Щеголев А.И. Компьютерно-томографические характеристики степени васкуляризации гепатоцеллюлярного рака // Медицинская визуализация. 2013. № 1. С. 52–58.

СТАТЬИ

УДК 662.61:66.071.9:66.074.3

ПОВЕДЕНИЕ NO_X ПРИ ОЧИСТКЕ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ТЭС КАРБОНАТНЫМ РАСПЛАВОМ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Досмухамедов Н.К., Егизеков М.Г., Жолдасбай Е.Е., Курмансеитов М.Б., Аргын А.А.

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, e-mail: nurdos@bk.ru

Выбросы азота в виде NOx с дымовыми газами ТЭС являются наиболее серьезными загрязнителями, образующимися в процессе сжигания угля. Использующийся сегодня процесс очистки газов карбонатом кальция является дорогостоящим, сопровождается большим количеством отходов и оставляет в газе значительное количество SO_2. Практически отсутствует удаление NOx. В настоящей работе рассмотрено поведение оксидов азота при очистке отходящих газов ТЭС карбонатным расплавом щелочных металлов. На основании термодинамического анализа реакций взаимодействия NOx с карбонатами щелочных металлов показана возможность снижения их концентраций в отходящих газах. Установлено, что процесс абсорбции NOx в температурном интервале 573–823 К сопровождается образованием устойчивого нитрита калия (KNO_2) в расплаве, о чем свидетельствуют высокие отрицательные значения энергий Гиббса реакций. Показано, что восстановление нитрита калия природным газом высоко. Энергия Гиббса для реакции взаимодействия NOx с природным газом с уменьшением температуры повышается и при температуре процесса регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом составляет, $\Delta G^o_{823\ K} = -922{,}6$ кДж/моль. Можно предвидеть, что технология удаления SO_2 и NOx из отходящих газов на основе карбонатного расплава щелочных металлов вполне может стать практичным и жизнеспособным методом ограничения выбросов серы и токсичных соединений азота в атмосферу.

Ключевые слова: оксид азота, отходящие газы, химическая абсорбция, карбонат калия, нитрит калия, регенерация, природный газ, температура, энергия Гиббса

BEHAVIOR OF NOX DURING PURIFICATION OF EXHAUST GASES OF TPP CARBONATE MELT OF ALKALINE METALS

Dosmukhamedov N.K., Egizekov M.G., Zholdasbay E.E., Kurmanseitov M.B., Argyn A.A.

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

Nitrogen emissions in the form of NOx in flue gases of Thermal Power Plants are the most serious pollutants generated by coal combustion. The gas purification process by calcium carbonate, which is used today, is expensive and accompanied by big amount of wastes as well as leaves a significant amount of SO_2 in the gas and practically does not remove NOx. The behavior of nitrogen oxides during the purification of flue gases of TPPs with a carbonate melt of alkali metals has been studied in this work. The possibility of reducing their concentrations in the flue gases is shown based on the thermodynamic analysis of the reactions of NOx interaction with alkali metal carbonates. It was found that the process of NOx absorption in the temperature range of 573... 823 K is accompanied by the formation of stable potassium nitrite (KNO_2) in the melt, which is confirmed by the high negative values of the Gibbs energies of reactions. It is shown that the reduction of potassium nitrite with natural gas is high. The Gibbs energy for the reaction of interaction of NOx with natural gas increases with temperature reduction. It is equal to $\Delta G^o_{823K} = -922.6$ kJ/mol at the temperature of the process of regeneration of carbonate-sulfate melt with natural gas. It can be foreseen that the technology for removing SO_2 and NOx from flue gases based on carbonate melt of alkali metals may become a practical and viable method for limiting the emissions of sulfur and toxic nitrogen compounds into the atmosphere.

Keywords: nitric oxide, waste gases, chemical absorption, potassium carbonate, potassium nitrite, regeneration, natural gas, temperature, Gibbs energy

Широкое использование угля в качестве дешевого топлива для выработки электроэнергии и тепла привело к росту отходящих газов с высоким содержанием CO_2. Решение задачи снижения выброса CO_2 сегодня приобрело глобальный характер и усиливается тем, что отходящие газы содержат значительные количества SO_2 и NO_x.

Известные способы очистки газов неэкономичны и сопровождаются образованием большого объема отвального загрязненного гипса [1–3]. Извлечение серы из газов составляет ~90%, практически весь спектр соединений азота выбрасывается в атмосферу.

В 1970-е гг. был предложен эффективный способ глубокой очистки отходящих газов от SO_2 с использованием расплавленной эвтектической смеси карбонатов щелочных металлов [4–6]. Данная технология требовала разработки метода дальнейшей регенерации расплава, который не был успешно решен авторами. Предложенная авторами регенерация расплава требовала осуществления многоступенчатого высокотемпературного (~850–900 °C) химического процесса,

что приводило к выходу из строя оборудования за счет агрессивности расплава.

В работе [7] авторами было предложено новое решение – низкотемпературная (450–550 °С) регенерация расплава монооксидом углерода. Достигнуто высокое, до 99%, извлечение серы из расплава. Технология была апробирована на котельной К-19 АО «Энерго-Орталык-3» (г. Шымкент) [8]. Полученные результаты полностью подтвердили теоретические основы технологии: достигнуто высокое до 95% улавливание серы и практически полное извлечение ее при регенерации монооксидом углерода. К сожалению, несмотря на положительные результаты, открытыми остались вопросы поведения соединений азота при улавливании серы карбонатным расплавом и регенерации карбонатно-сульфатных расплавов монооксидом углерода. Кроме того, использование в качестве восстановителя СО усложняет аппаратурное оформление технологии, ввиду необходимости создания специальной установки для получения СО путем сжигания дополнительного количества угля.

Широкое использование в металлургической практике природного газа представляет большой интерес с точки зрения его применения в качестве восстановителя карбонатно-сульфатного расплава, вместо монооксида углерода. Теоретические аспекты регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом были рассмотрены в работе [9]. Показана принципиальная возможность использования природного газа в качестве восстановителя карбонатно-сульфатного расплава с получением сероводорода (H_2S), пригодного для получения серной кислоты и элементной серы [10]. Применение природного газа вместо СО для регенерации имеет значительные преимущества: исключается необходимость дополнительного оборудования и расхода угля для получения СО. В проведенных исследованиях, так же как и в случае использования СО, вопросы поведения соединений азота NOx в процессах химической абсорбции отходящих газов и регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом не были подвергнуты детальному анализу.

Цель настоящей работы: исследование поведения оксидов азота при очистке отходящих газов ТЭС и металлургических предприятий эвтектикой карбонатов щелочных металлов и регенерации расплава монооксидом углерода и природным газом.

Методика исследования

Термодинамическая оценка вероятности протекания реакций взаимодействия между компонентами газового потока (SO_2, NO_x) с эвтектикой расплава состава,% (моль): Li2CO3 – 43,5, Na_2CO_3 – 31,5, K_2CO_3 – 25, сводилась к определению зависимости свободной энергии Гиббса от температуры. В основу исследований поведения соединений азота положен термодинамический анализ реакций взаимодействия оксидов азота (NO, NO_2) с карбонатом калия как одного из доминирующих соединений, вступающего во взаимодействие с NO_x с образованием нитрита калия.

Данные о свободных энергиях исходных веществ и продуктов реакций, а также их энтропиях и теплоемкостях взяты из работы [11]. За стандартное состояние карбоната, сульфата и нитрита калия приняты состояния – чистый жидкий переохлажденный карбонат ($K_2CO_{3ж}$), сульфат ($K_2SO_{4ж}$) и нитрит калия ($KNO_{2ж}$).

Механизм регенерации расплава, содержащего нитрит калия, рассматривался с позиций термодинамической возможности его восстановления монооксидом углерода и природным газом.

Удаление соединений азота (NO_x) из дымовых газов с помощью смеси карбонатной эвтектики

Механизм взаимодействия оксидов азота с карбонатом калия можно представить системой следующих реакций:

$$K_2CO_{3\ liquid} + NO_{g} + NO_{2\ g} = 2KNO_{2\ liquid} + CO_{2\ g}, \quad (1)$$

$$K_2CO_{3\ liquid} + 2NO_{g} + 0.5O_{2\ g} = 2KNO_{2\ liquid} + CO_{2\ g}. \quad (2)$$

Согласно результатам термодинамических расчетов вероятность протекания реакций (1), (2) достаточно высока, о чем свидетельствуют отрицательные значения энергии Гиббса во всем исследованном температурном интервале – 573–823 К (рис. 1).

Механизм взаимодействия соединений азота с карбонатом калия характеризуется интенсивным образованием нитрита калия, изучение особенностей которого представляет интерес как с позиций формирования устойчивых соединений азота на стадии абсорбции газов карбонатным расплавом, так и дальнейшего восстановления его монооксидом углерода и природным газом. Видно, что уменьшение температуры смещает протекание реакций (1), (2) в сторону образования нитрита калия.

При комплексной очистке газов от SO_2 и NO_x в первую очередь следует ожидать активного взаимодействия сернистого анги-

дрида с карбонатом калия. Высокие скорости реакции поглощения серы карбонатным расплавом вызывают образование сульфатов, которые составляют основу расплавов, получаемых после абсорбции газов [7, 12, 13]. Данный факт объясняет относительно небольшое количество расплава, необходимое для удаления SO_2 из газов. Низкие, по сравнению с серой, концентрации NO_x в газах (250–400 мг/нм^3) не окажут существенного влияния на расход карбонатного расплава. По данному способу достигается высокое, до 95 %, удаление серы и NO_x из газов. При этом остаточное содержание серы в дымовых газах составляет 0,003 %. Это как минимум в 15 раз ниже значения достигаемого самыми эффективными процессами на основе известняка.

Результаты термодинамических расчетов показывают, что протекание реакций (1) и (2) в температурном интервале 523–823 К характеризуется отрицательными значениями свободной энергии Гиббса. По сравнению со значениями энергии Гиббса для реакции взаимодействия сернистого ангидрида с карбонатом калия, низкие значения энергии Гиббса реакций (1), (2) указывают на подчиненный их характер. Тем не менее можно утверждать, что сульфатно-карбонатный расплав, полученный после удаления серы из отходящих газов, будет содержать незначительное количество нитрита калия. Это свидетельствует не только о возможности улавливания SO_2 и летучей золы из отходящих газов карбонатным расплавом щелочных металлов [8], но и о глубокой очистке газов от токсичных соединений азота NOx.

Карбонатный расплав, содержащий сульфаты и небольшое количество нитрита калия, может быть регенерирован путем извлечения серы, исследование которого представляет большой практический интерес.

Низкотемпературное восстановление нитрита калия монооксидом углерода и природным газом

Оценка термодинамической вероятности восстановления нитрита калия CO и CH_4 проведена на основе термодинамического анализа реакций:

$$2KNO_{2\ liquid} + CO_{g} =$$

$$= K_2CO_{3\ liquid} + N_{2\ g} + O_{2\ g}, \quad (3)$$

$$2KNO_{2\ liquid} + CH_{4\ g} + 0.5O_{2\ g} =$$

$$= K_2CO_{3\ liquid} + N_{2\ g} + 2H_2O_{g}. \quad (4)$$

Термодинамические расчеты энергии Гиббса реакций (1), (2), проведенные на основе стандартных значений для чистых веществ, указывают, что сокращение нитрита калия в расплаве возможно в широком диапазоне температур, включая интересующий нас низкотемпературный интервал 523–823 К (рис. 2).

Очевидно, что реакция (4) более практична, поскольку позволяет осуществлять восстановление нитрита калия природным газом. Это исключает необходимость использования специального оборудования для получения CO путем сжигания дополнительного расхода угля. Расчеты свободной энергии Гиббса для реакций (3) и (4) показывают предпочтительность протекания реакции (4), чем реакции (3). На рис. 2 видно, что значения энергии Гиббса реакции (4) в ~3 раза превышают значения энергии Гиббса реакции (3) во всем исследованном температурном интервале. Полученные результаты хорошо согласуются с данными работы [14], где показано отсутствие растворения метана в ионном карбонатном расплаве ввиду неполярности его молекулы.

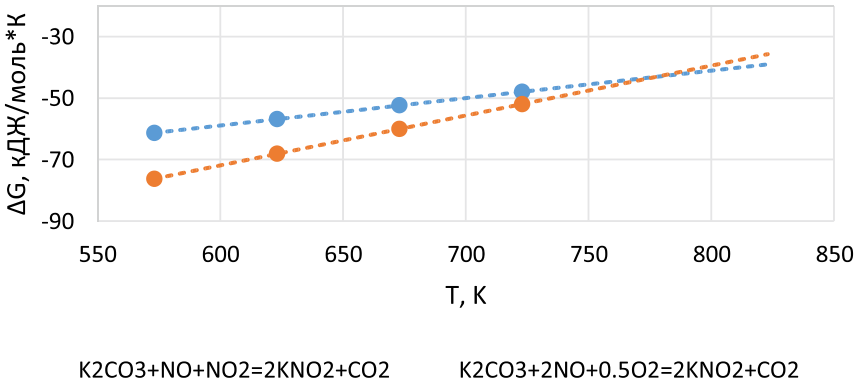

Рис. 1. Расчет свободной энергии Гиббса реакций взаимодействия соединений азота с карбонатом калия в температурном интервале 523–823 К

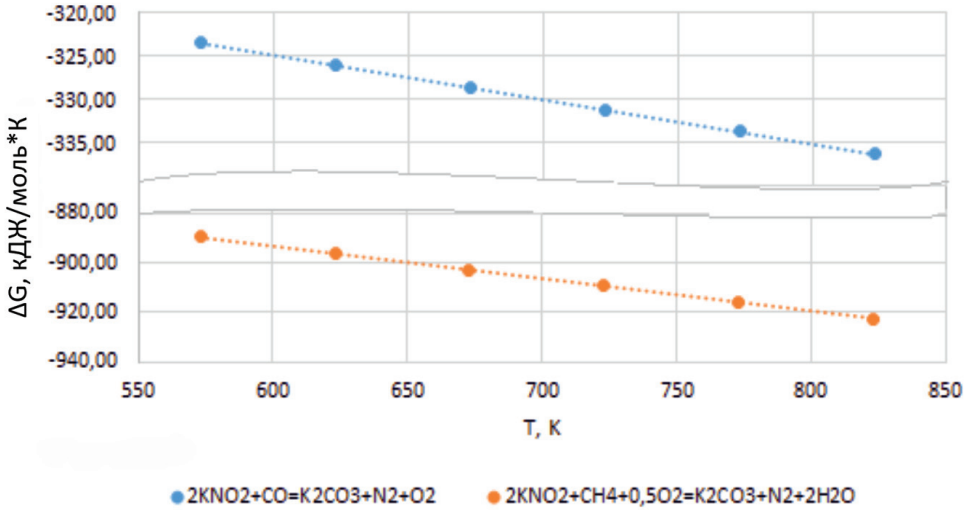

Рис. 2. Расчет свободной энергии Гиббса реакций восстановления нитрита калия CO и CH_4 в температурном интервале 523–823 К

Таким образом, полученные результаты показывают принципиальную возможность низкотемпературного восстановления нитрита калия монооксидом углерода и природным газом. Прямое восстановление нитрита калия до его карбоната при той же температуре 450–500 °С, при которой происходит абсорбция SO_2 и NO_x в одном аппарате. Такая модификация может потенциально преобразовать технологию глубокой очистки отходящих газов ТЭС и металлургических предприятий от SO_2 и токсичных соединений азота NO_x на основе карбонатной эвтектики в практичный и жизнеспособный крупномасштабный процесс.

Выводы

1. На основании термодинамического анализа реакций взаимодействия оксидов азота с карбонатом калия показана принципиальная возможность их улавливания с образованием нитрита калия в расплаве. Результаты термодинамических расчетов показывают, что протекание реакций (1) и (2) в температурном интервале 523–823 К характеризуется отрицательными значениями свободной энергии Гиббса. По сравнению со значениями энергии Гиббса для реакции взаимодействия сернистого ангидрида с карбонатом калия, низкие значения энергии Гиббса реакций (1), (2) указывают на подчиненный их характер.

2. Показано, что взаимодействие соединений азота с карбонатом калия сопровождается образованием нитрита калия в расплаве и выделением углекислого газа, что повышает концентрацию CO_2 в газах, направляемых на дальнейшее его улавливание.

3. В результате термодинамических расчетов энергии Гиббса реакции взаимодействия нитрита калия с CO и CH_4 установлена высокая вероятность восстановления нитрита калия природным газом. Показано, что энергия Гиббса для реакции взаимодействия NOx с природным газом с уменьшением температуры повышается и при температуре процесса регенерации карбонатно-сульфатного расплава природным газом составляет, $\Delta G^{o}_{823\ K} = -922{,}6$ кДж/моль.

Список литературы

1. Губонина З.И., Крынкина В.Н., Кунин В.С. Промышленная экология. Защита атмосферного воздуха от вредных выбросов: уч. пособие. М.: Изд-во МГОУ, 2012. 138 с.

2. Калыгин В.Г. Промышленная экология: уч. пособие для вузов. М.: Академия, 2010. 432 с.

3. Пикалов Е.С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Механические и физические методы очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу: уч. пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. 78 с.

4. Nolan P. Flue Gas Desulfurization Technologies for Coal-Fired Power Plants. Coal-Tech 2000 International Conference. Indonesia, Jakarta. 2000.

5. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. М.: Металлургия, 2012. 544 с.

6. Махнин А.А., Фролова Е.А. Техника защиты окружающей среды: уч. пособие. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2013. Ч. 2: Техника защиты атмосферы. 2014. 215 с.

7. Kaplan V., Wachtel E., Lubomirsky I. Carbonate melt regeneration for efficient capture of SO_2 from coal combustion. The Royal Society of Chemistry (RSC) Advances 3. 2013. P. 15842–15849.

8. Досмухамедов Н.К., Симбинов М.Д., Жолдасбай Е.Е., Каплан В.А. Опытно-промышленные испытания технологии глубокой очистки отходящих газов ТЭС карбонатным расплавом щелочных металлов. Горный журнал Казахстана. 2018. № 4. С. 34–40.

9. Dosmukhamedov N., Kaplan V., Zholdasbay Y., Wachtel E., Lubomirsky I. Natural gas regeneration of carbonate melts following SO_2 capture from non-ferrous smelter emissions. The Royal Society of Chemistry (RSC) Advances 7, 2017. P. 21406–21411.

10. Kawase M.O., Otaka M. Removal of H2S using molten carbonate at high temperature. Waste Manag. 2013. (33). P. 2706–2712.

11. Turkdogan E.T. Physical Chemistry of High Temperature Technology. Academic Press. 1980. 462 p.

12. Yosim S.J., Grantham L.F., Mckenzie D.E., Stegmann G.C. Advances in Chemistry Series, American Chemical Society, Washington D.C., 1973. Vol. 127. P. 174.

13. Krebs T., Nathanson G.M. Reactive collisions of sulfur dioxide with molten carbonates. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2010. Vol. 107(15). P. 6622–6627.

14. Ashar N.G., Golwalkar K.R. A Practical Guide to the Manufacture of Sulfuric Acid, Oleums, and Sulfonating Agents. London Springer, New York, 2013. P. 152.

УДК 004.9:620.93:532.517.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ RFID-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УДАЛЕННОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ

Зиннуров Р.Р., Розенцвайг А.К., Исавнин А.И., Карамышев А.Н., Еремина И.И.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Набережночелнинский институт (филиал), Набережные Челны, e-mail: a_k_r@mail.ru

Планирование бизнес-процессов и контроль автономного производства конкурентной продукции неразрывно связаны с использованием современных цифровых технологий и оборудования. Так изготовление труб из стекловолокна включает несколько производственных этапов: подготовка компонентов, намотка трубы, формирование резьбы и гидравлические испытания. Рассмотрены результаты встраивания текущего контроля в производственный процесс, чтобы фиксировать не только факт возникновения, но и место появления бракованного изделия. Показаны перспективные возможности, которые предоставляет RFID-технология для беспроводного способа идентификации объектов посредством радиосигналов. Отличительными чертами этой технологии являются дальняя дистанция считывания (до 300 метров), низкое энергопотребление считывающего устройства и низкая стоимость самих меток. Технология RFID позволяет получать всю информацию даже за внушительными преградами типа бетонной стены или толстого слоя земли. Она позволяет оперативно считывать с метки информацию с минимальными затратами времени на её поиски. Доступная сотрудникам любой службы предприятия оперативная информация способствует эффективному выполнению своих должностных обязанностей. По мере усложнения производственных процессов система исключает неконтролируемый риск брака на любом из технологических этапов. Подробно описана как сама технология, так и последующие перспективные направления ее внедрения.

Ключевые слова: производство труб, контроль качества, автоматизация, интеллектуальные системы управления, цифровые технологии, RFID-метки, идентификация объектов

USING RFID-TECHNOLOGY FOR REMOTE TRACKING OF THE MANUFACTURING PROCESS

Zinnurov R.R., Rozentsvaig A.K., Isavnin A.G., Karamyshev A.N., Yeremina I.I.

Kazan (Volga region) Federal University, Naberezhnye Chelny (Branch) Institute, Naberezhnye Chelny, e-mail: a_k_r@mail.ru

Business process planning and control of autonomous production of competitive products are inextricably linked with the use of modern digital technologies and equipment. Thus, the production of fiberglass pipes includes several production stages: preparation of components, pipe winding, thread formation and hydraulic testing. The results of embedding current control in the production process are considered in order to record not only the fact of occurrence, but also the place of occurrence of a defective product. The promising opportunities that RFID technology provides for a wireless method of identifying objects by means of radio signals are shown. The distinctive features of this technology are a long reading distance (up to 300 meters), low power consumption of the reader and low cost of the tags themselves. RFID technology allows you to get all the information even behind impressive obstacles such as a concrete wall or a thick layer of earth. It allows you to quickly read information from the label with minimal time spent searching for it. Operational information available to employees of any service of the enterprise contributes to the effective performance of their official duties. As production processes become more complex, the system eliminates the uncontrolled risk of defects at any of the technological stages. Both the technology itself and the subsequent promising directions of its implementation are described in detail.

Keywords: pipe production, quality control, automation, intelligent control systems, digital technologies, RFID tags, object identification

Повышение эффективности производства во многом определяют методы управления и контроля над технологическими объектами. При выборе системы управления технологическими процессами важно правильное выполнение контроля качества продукции на входе и выходе каждого промежуточного этапа. Известны два способа контроля: сплошной и выборочный. Выборочный способ состоит в изучении небольшой части изделий и применении статистических методов для оценки брака в общей массе изделий. Эта форма контроля наименее затратная, но она не позволяет управлять качеством продукции. Перспективным способом является встраивание контроля в производственный процесс, чтобы фиксировать не только факт возникновения, но и место появления бракованного изделия. Это позволяет оперативно принимать управленческие решения по совершенствованию производственной деятельности. Однако сплошной контроль требует не только повышенных затрат, но и соответствующих методов и оборудования для проверки каждого изделия [1–3].

Планирование бизнес-процессов автономного производства тесно связано с характеристиками используемых цифровых технологий и оборудования [4, 5].

В частности, рассматривается технология идентификации продукции, разработанная совместно с ООО «Татнефть-Пресскомпозит» и компанией «ТатИТнефть», которая предоставляет возможности для отслеживания результатов каждого этапа производства труб из стекловолокна. Для получения готовой трубы из стекловолокна требуется пройти несколько производственных этапов: подготовка компонентов, намотка трубы, формирование резьбы, гидравлические испытания. И на любом из перечисленных этапов возможен риск получения брака и для отслеживания подобных инцидентов была предложена идея внедрения идентификации каждой трубы, с обновлением информации на каждом этапе. Например, считав метку с любой готовой продукции, можно узнать: когда, во сколько, каким сотрудником была изготовлена труба, когда она перешла на другой участок и так далее. Это позволяет 100 % определить, где следует улучшить технологический процесс, для уменьшения количества брака и выявления скрытых возможностей оптимизации технических процессов и снижения себестоимости.

Помимо RFID технологии были также сделаны попытки использовать QR-коды и штрих-коды. Но сразу же возникли проблемы, свойственные контрактной форме производства. После нанесения кода на продукцию, её покрывают несколькими слоями стеклонити, пропитанной смолой, что затрудняет считывание кода. Кроме того, если код будет испорчен (царапины, загрязнения или другие физические повреждениями), то опознавательная метка не может быть считана. Учитывая специфику нашей работы, QR-коды и штрих-коды после контакта со смолой могли не только стать трудночитаемыми, но и могли полностью быть уничтоженными.

Целью исследования является такая технология RFID, которая полностью лишена этих недостатков, т.к. метка представляет собой антенну, находящуюся в защитной оболочке.

Материалы и методы исследования

Рассмотрен метод автоматической идентификации RFID (англ. Radio Frequency IDentification, радиочастотная идентификация), с помощью которого считываются или записываются данные объектов, хранящихся в так называемых транспондерах, или RFID-метках, посредством радиосигналов [6–8]. Любая RFID-система обязана включать в себя такое устройство как: ридер или, называемое по-другому, интеррогатор, считывающие все метки в радиусе своего действия. Наличие этого компонента обеспечивает системе ряд важных удобств [9, 10] при выполнении таких операций, как:

– перезапись содержимого RFID-меток. Самым значимым отличием от обычных штрих кодов является то, что данные, содержащиеся в метке можно перезаписывать много раз, в то же время данные на штрих коде записываются при выводе на печать и не могут быть изменены в будущем.

– дистанционный доступ к продукции. Метке достаточно находится в радиусе RFID-считывателя, что он мог считать её данные. Метка может быть считана при любом положении и ориентации. Единственным препятствием могут лишь послужить толстые укрытия вроде бетонной стены. В случае со штрих кодом, сканеру необходимо принимать определенное положение, чтобы полностью прочесть весь код.

– удаленность идентификации меток. В отличие от штрих-кода содержание RFID-метки может быть считано на большом расстоянии. Радиус считывания метки может достигать нескольких сотен метров, расстояние зависит только от модели RFID-метки и возможностей самого считывателя.

– больший объём хранения данных. В штрих коде можно записать лишь небольшое количество текстовой информации. RFID-метка позволит записать гораздо больший объем различной информации.

– возможность обработки множества меток. Промышленные модели RFID-считывателей используя анти коллизионную функцию способны считать одновременно тысячи меток в секунду, что может быть удобно при инвентаризации продукции. Альтернативная технология, которая использует сканер штрих-кодов, может единовременно работать лишь с одним штрих-кодом.

– считывание меток независимо от физической ориентации продукции. Для удовлетворения международных стандартов, которые регулируют правила размещения штрих-кодов на транспортной и товарной упаковке (типа EAN International), штрих-коды должны быть расположены в определенных местах тары. Для радиометки данные требования не распространяются. Достаточно всего одного условия – метка должна находиться в зоне действия считывателя.

– устойчивость к внешним условиям размещения продукции. Для предприятий с жёсткими/вредными условиями рабочей среды выпускают RFID-метки с повышенной сопротивляемостью к определенным средам (вроде кислоты или высокой температуры). А штрих-код практически никак

нельзя защитить, достаточно одной царапины или загрязнений метки, чтобы она стала нечитаемой или вовсе пришла в негодность, т.е. стойкость штрих-кода практически равна обычному бумажному листу. Пассивные радиометки практически имеют неограниченный срок эксплуатации.

– многоцелевое использование. Штрих-код предназначен лишь для хранения фиксированных данных. В свою очередь, RFID – метки могут использоваться при решении многих других задач. Для этого имеется возможность перепрограммировать сохраняемые/считываемые данные и выполнять необходимые действия с информацией в преобразованном виде.

– высокая степень безопасности. Высокую степень защиты от подделки метки обеспечивает её уникальное число-идентификатор, которое присваивается метке ещё при производстве. Помимо этого, данные на метке можно зашифровать, крипто-устойчивость обеспечивается специалистом, и таким образом она может быть зашифрована настолько, что её смогут прочесть лишь определенный круг лиц. И наконец, операции защиты и считывания возможно дополнительно защитить паролем и зашифровать данные при передаче. В тоже время штрих-код всегда можно считать даже с помощью мобильного приложения [11].

RFID-планшет. Неотъемлемой частью технологии идентификации является планшет со встроенным модулем RFID-системы, представленный на рис. 1. Такой планшет расположен на каждом участке производства, и любая метка, попавшая в радиус действия модуля, считывается автоматически.

Рис. 1. Планшет со встроенным RFID-модулем

Впоследствии оператор получает не только возможность доступа к важной информации, но и записи для своих коллег дополнительных комментариев или указаний. Следует отметить, что антенну можно настроить в режим считывания всех меток в радиусе своего действия. Это необходимо, например, на участке упаковки, чтобы узнать, сколько всего готовой продукции имеется в данный момент. Или настроить антенну для работы в строго определенном секторе, например, на участке намотки, где оператору достаточно лишь считать метку, которая находится в радиусе 5–10 метрах.

Запись данных возможна в автоматическом и полуавтоматическом режиме. В автоматическом режиме планшет достаточно настроить через меню и установить параметры, которые будут записаны. В нашем случае это: время и дата прибытия на участок, ФИО изготовителя трубы, мастера и начальника участка. Данные берутся из системы контроля и управления доступом, где находится вся информация о тех, кто работает на производстве в определенный момент. В полуавтоматическом режиме оператор сам может занести дополнительную информацию, будь это короткий текст, или ссылка на документ или приложенное изображение. Помимо планшетов возможно использование и стационарных компьютеров/ноутбуков, интегрированных с антеннами RFID, но с этим связаны сразу две проблемы:

1) Стоимость, планшеты со сканерами меток обходятся намного дешевле.

2) Мобильность, благодаря этому все сотрудники с планшетами могут одновременно узнавать информацию о необходимой продукции. В случае варианта с компьютером, рабочим бы пришлось перетаскивать продукцию в зоны сканера для считывания, иначе, сканеры бы считали всю продукцию в радиусе своего действия.

Структура и программное обеспечение RFID-системы

RFID-система включает в себя 3 составные части: RFID-метку, RFID-антенну и ПО на планшете. После того, как радиометка попала в зону считывания антенны, возможно выполнение 2-ух сценариев. Первый реализуется, если продукция находится под автоматической антенной, там запишется ранее настроенный список данных. Второй – если антенна находится в полуавтоматическом режиме, то оператору потребуется внести необходимые данные, используя программное обеспечение.

Описываемое программное обеспечение является совместной разработкой ООО «Татнефть-Пресскомпозит» и компанией «ТатИТнефть», дочерней компании «Татнефть», занимающейся исключительно

вопросами разработки IT-решений. Данная программа подключается напрямую с RFID-модулю планшета и позволяет получать и отправлять данные на аппаратном уровне. В комплекте с планшетом шло программное обеспечение, но оно позволяло лишь считать метку. По этой причине было принято решение написать собственное ПО, которое позволяло бы получать все данные по метке из разных источников таких как: Интернет и информационные системы типа 1С: ERP [9, 11].

Интерфейс программы. Как показано на скриншоте, рис. 2, программа после считывания ближайшей метки показывает его серийный номер.

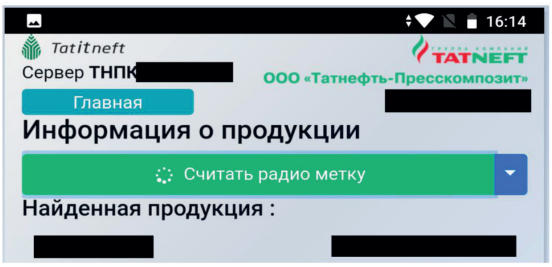

Рис. 2. Доступ к информации о продукции предприятия

После выбора продукции оператор получает доступ к меню (рис. 3), где ему предоставляются такие возможности, как

– просмотр, как продвигается изготовление продукции (доступно лишь во время непосредственного производства);

– просмотр всей информации о продукции.

Эта информация доступна в реальном режиме времени сотрудникам любой службы предприятия при выполнении своих должностных обязанностей:

1) Планово-диспетчерский отдел и отдел продаж контролируют выполнение заказа;

2) Отдел качества оперативно уточняет % брака;

3) Технологи при производстве используют разные виды смол (полиэфирные, эфирные), разные виды добавок в зависимости от заказа. Специалисты могут оценивать, как это отражается на качестве продукции.

4) Финансово-экономический отдел получают возможность оценить амортизацию и экономическую эффективность на основе текущих показателей производства.

5) Отдел закупок благодаря реальным данным может заранее заказать необходимые расходные материалы, чтобы производство не испытывало в них дефицита.

6) Складской учет. Даже когда продукция еще не сошла с конвейера, кладовщики знают, на какой склад она поступит.

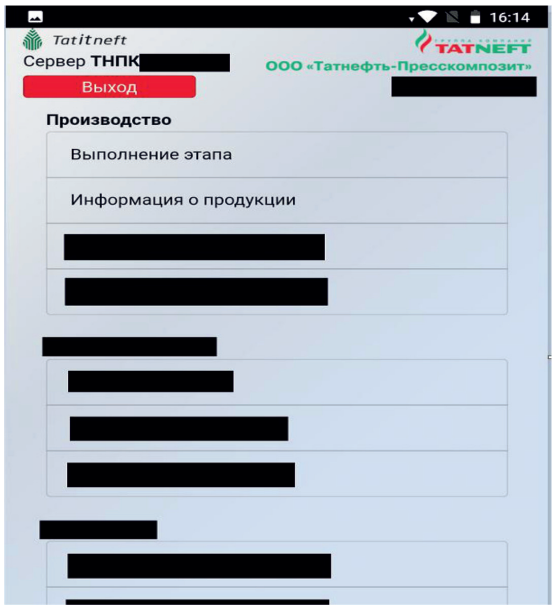

Рис. 3. Состав информационного обеспечения программы

Перейдя в меню «Выполнение этапа» можно выяснить, как продвигается производство продукции на данном этапе в реальном режиме времени. Практически на каждом этапе будет доступна общая информация:

1) Дата прибытия изделия на этап и убытия с него;

2) ФИО изготовителя продукции, а также ФИО мастера и текущего начальника производства.

3) Информация о продукции: наименование, артикул, размер, вес и т.д.

4) Для какого производственного задания производится данная продукция.

Каждый раз, когда менеджеры по продажам создают новый заказ клиента, они указывают, какую продукцию, в каком объеме, и к какому сроку она должна быть сделана. После этого производственное задание передается в планово-диспетчерский отдел, где на основе производственной нагрузки, свободных линий и графика работы рабочих, создается задание на производство. Благодаря такому подходу к организации производства можно точно сказать, для чего конкретно была произведена каждая изготовленная труба. Приложение позволяет сделать намного больше операций, но, из-за специфики производства часть функционала ПО на рис. 4 скрыта.

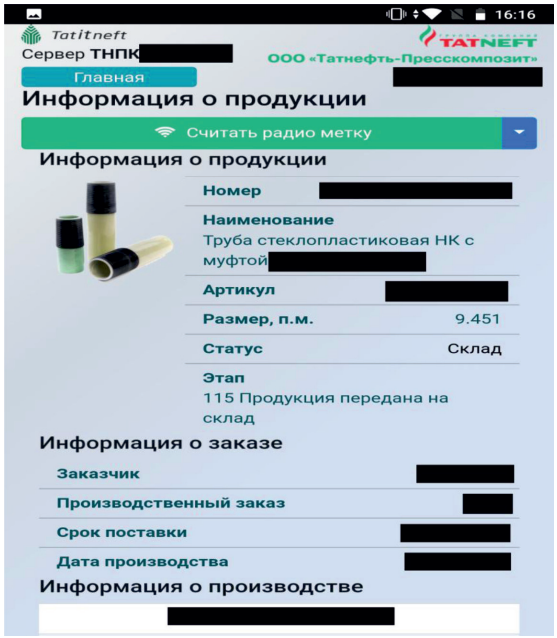

Рис. 4. Содержащиеся в RFID характеристики пластиковых труб

В меню информации о продукции, представленном на рис. 4, содержится полная информация о продукции: номер в системе, полное наименование, и т.д. Помимо этого, можно расширить ассортимент продукции, где будет использоваться данная продукция. В будущем можно использовать метки при производстве и других изделий, таких как:

а) кабельных лотков. При этом не обязательно крепить метку не на каждый лоток, а, например, в местах их стыков. При этом можно указывать информацию о том, какие лотки были использованы на данном участке. Можно также добавить информацию, какие кабели были уложены в данные лотки, чтобы операторы могли знать, на какие изделия следует заменить в случае выхода их из строя.

б) SMC (Sheet Molding Compound), в форме листов, состоящих из рубленного стекловолокна, пропитанный полиэфирными насыщенными смолами и покрытый с двух сторон барьерной пленкой. Они в первую очередь используются для изготовления продукций, от которой требуют механическую прочность и высокое качество текстуры поверхности.

в) BMC (Bulk Molding Compound), бесформенной и рыхлой массы, состоящей из стекловолокна, полиэфирных насыщенных смол, добавок и наполнителя.

Во всех этих случаях можно использовать метки для идентификации партии с указанием состава, веса и результатов испытаний. На основе этой информации понятно, при каких условиях получена продукция и каковы возможности ее использования.

Выводы

Проект был нацелен в первую очередь для идентификации характеристик продукции с возможностью контроля результатов каждого этапа производства. Однако благодаря хорошим результатам было принято решение увеличить спектр применения данной технологии. В настоящее время технология RFID используется лишь с момента нанесения метки на трубу и закачивается после ее упаковки и отгрузки заказчику. В будущем планируется использовать метку рабочими бригадами также при ремонте трубопроводов. Если труба окажется поврежденной, то для обнаружения ее достаточно использовать планшет со встроенным модулем RFID. Трубу даже не придется выкапывать из земли, радиосигнал может пройти через такую преграду. Узнав, какая часть трубы была повреждена, можно принимать решение, как следует устранить повреждение или просто заказать идентичную продукцию, имея полную информацию о наименовании и артикуле трубы.

Заключение

RFID-технология начинает применяться на производственных предприятиях совсем недавно, так как затраты на установку и обслуживание обходились в большую сумму. Но по мере совершенствования оборудования RFID-систем и развития технологий их применения затраты на поддержание их работы уменьшились в несколько раз. Помимо этого, с усложнением производства возникает зачастую неконтролируемый риск брака на любом из технологических этапов. Предприятию необходимо своевременно вносить коррективы или полностью избавиться от негодной продукции. После удачного внедрения на RFID-системы производстве продукции отдельного предприятия становится возможным последующее развитие идентификации и за пределами этого предприятия. В частности, установив RFID модуль на автомобиль и впоследствии считав данную метку в автосервисе, сотрудникам будет доступна вся информация, начиная от характеристики каждой детали, которые нужно заказать или заменить. Также можно оперативно получить всю техническую документацию, необходимую для выполнения последующего ремонта.

Список литературы

1. Рыбаков М. Бизнес-процессы: как их описать, отладить и внедрить. М.: Издательство Михаила Рыбакова, 2016. 392 с.

2. Репин В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. СПб.: Изд-во «Эксмо», 2013. 790 с.

3. Трофимов В.Б., Кулаков С.М. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами. М.: Инфра-Инженерия, 2016. 232 с.

4. Емельянов А.А., Останина Ю.А. Планирование автономного производства в холдинге с применением методов адаптивного управления // Прикладная информатика. 2008. № 1(18). С. 125–139.

5. Пшеничников В.В. RFID. 1 технология – 1000 решений. Практические примеры использования RFID в различных областях. М.: Изд-во Альпина Паблишер, 2014. 218 с.

6. Dobkin D.M. The RF in RFID: UHF RFID in Practice. Derbyshire, Publisher «Newnes», 2007. 542 p.

7. Dennis Brown. RFID Implementation. New York, Publisher «McGraw-Hill Education», 2014. 466 p.

8. Albert Lozano-Nieto. RFID Design Fundamentals and Applications. Ohio, Publisher «McGraw-Hill Education», 2010. 283 p.

9. Jerry Banks, Manuel Pachano, Les Thompson, David Hanny. RFID Applied. New-Jersey, Publisher «Wiley», 2015. 528 p.

10. Бхуптани М., Морадпур Ш. RFID-технологии на службе вашего бизнеса. М.: «Альпина Бизнес Букс», 2007. 281 с.

11. Amal Graafstra. RFID Toys: Cool Projects for Home, Office, and Entertainment. New Jersey, Publisher «Wiley», 2016. 320 p.

СТАТЬИ

УДК 535.41:778.38

ВЛИЯНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ФАЗОВЫХ СРЕД НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОСКОСТЕЙ САМОРЕПРОДУКЦИЙ ЛИНЕЙНОЙ РЕШЕТКИ

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

Институт физики им. академика Ж.Ж. Жээнбаева НАН Кыргызской Республики, Бишкек, e-mail: i_yusupjan@mail.ru

В статье рассмотрены фазовые среды типа оптический клин и тонкая линза. Аналитическая оценка проводилась исходя из факта, что для тонкого клина выполняется следующее важное условие: угол при вершине настолько мал, что можно воспользоваться приближением малых углов. Такое приближение позволяет сильно упростить вычисления, при этом практически не воздействуя на общность задачи. Было показано, что оптический клин осуществляет смещение вдоль направления оси x последовательности саморепродукций, которая формируется световым полем. Помимо этого плоскость восстановления разворачивается на некоторый угол γ. Переход к системе координат, которая повернута на угол γ относительно исходной оси, позволяет преобразовать картину восстановления, формируемую световым полем, к картине, формируемой световым полем в отсутствии оптического клина. В качестве следующего объекта, вносящего фазовые возмущения в последовательность саморепродукций, была рассмотрена тонкая линза. Для объекта типа тонкая линза аналитически показано, что для светового поля распределение за линзой подобно распределению поля в отсутствии линзы, но при этом плоскости саморепродукции сгущаются перед фокальной плоскостью и разрежаются за ней. Кроме того, перед фокальной плоскостью размеры саморепродукций уменьшаются, а за ней возрастают.

Ключевые слова: линейная решетка, саморепродукции, оптический клин, тонкая линза, преобразование Фурье, преобразование Френеля

INFLUENCE OF THE SIMPLE PHASE MEDIA ON THE DISTRIBUTION OF THE SELF-REPRODUCTION PLANES OF A LINEAR GRATING

Alymkulov S.A., Ismanov Yu.Kh., Zhumaliev K.M.

Institute of Physics named after academician Z.Z. Zheenbaev of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

The article deals with phase media such as an optical wedge and a thin lens. The analytical assessment was carried out proceeding from the fact that for a thin wedge the following important condition is fulfilled: the angle at the vertex is so small that one can use the small angle approximation. Such an approximation allows one to greatly simplify the calculations, while practically not affecting the generality of the problem. It was shown that the optical wedge displaces along the x-axis the sequence of self-reproduction, which is formed by the light field. In addition, the plane of restoration is rotated by a certain angle. The transition to the coordinate system, which is rotated by an angle relative to the original axis, makes it possible to transform the reconstruction pattern formed by the light field to the pattern formed by the light field in the absence of an optical wedge. A thin lens was considered as the next object that introduces phase disturbances in the sequence of self-reproduction. For an object of the thin lens type, it is analytically shown that for a light field, the distribution behind the lens is similar to the distribution of the field in the absence of a lens, but, at the same time, the self-reproduction planes are condensed in front of the focal plane and are rarefied behind it. In addition, in front of the focal plane, the sizes of self-reproduction decrease, and behind it, they increase.

Keywords: linear grating, self-reproduction, optical wedge, thin lens, Fourier transform, Fresnel transform

Эффект безлинзового формирования изображений периодических структур впервые был зарегистрирован Тальботом в 1836 г. [1]. В современных исследованиях рассмотрены различные аспекты явления формирования саморепродукций периодическими объектами.

Рассмотрение условий возникновения явления саморепродуцирования в предельно общем случае косоугольной элементарной ячейки, заключающей произвольный по функции прозрачности объект, дано в [2–4]. Для описания транспаранта, состоящего из ячеек подобного типа, авторы исходили из того, что ряд Фурье определенной в ограниченном интервале функции, вне области ее определения, дает бесконечное количество регулярных повторений этой функции. То есть ряд Фурье ведет себя как оператор размножения. Используя это свойство ряда Фурье, можно описать пространственно-регулярный двумерный транспарант, состоящий из бесконечной совокупности идентичных прямоугольных ячеек.

Явление саморепродуцирования при наклонном освещении рассмотрено в [5]. В работе исследованы закономерности формирования дифракционных картин за одномерными и двумерными периодическими транспарантами, освещен-

ными наклонным пучком когерентного света. Выяснены условия наблюдения явления саморепродуцирования на объектах конечного размера.

В работах [6–8] с общих позиций теории образования изображений при когерентном и некогерентном освещении рассмотрен процесс образования изображения в явлении саморепродуцирования при освещении объекта излучением с модулированной пространственной когерентностью. Модуляция пространственной когерентности позволяет использовать излучение от широкофокусных источников с широким спектром. Сообщается о результатах по наблюдению фурье-изображений в мягком рентгеновском излучении, полученном с помощью источника синхротронного излучения. Рассмотрены дисперсионные свойства явления саморепродуцирования. Приведены экспериментальные результаты и расчетные кривые спектрометрических исследований.

Явление саморепродуцирования обычно наблюдают при освещении решетки плоской волной, т.е. при падении на решетку коллимированного пучка света. Исследование явления саморепродукции в случае произвольного волнового фронта проведено в [9, 10]. Получены обобщенные решения на базе дифракционной теории в приближении Френеля. Подробно исследован случай гауссиановского пучка. Показано, что типичный пример явления саморепродуцирования существует и в этом случае.

Важным моментом в исследованиях явления саморепродуцирования является учет влияния различных фазовых сред на распределение саморепродукций.

Целью данной работы является анализ воздействия некоторых простейших фазовых сред на распределение плоскостей саморепродукций линейной решетки.

Последовательность саморепродукций в простейших фазовых средах

Рассмотрим простейшие фазовые среды, такие как оптический клин и тонкая линза. Для оптического клина фазовые возмущения светового поля можно представить в виде [11, 12]

$$\sigma_c = k\gamma x_c, \text{ где } \gamma = (n-1)tg\varphi, \qquad (1)$$

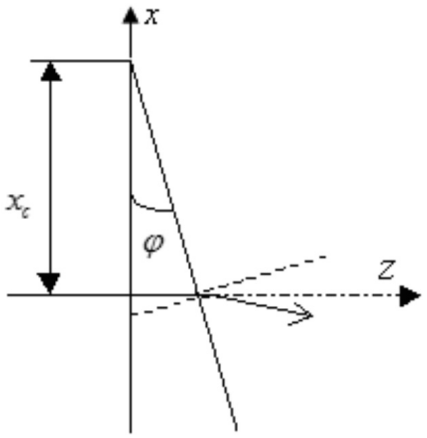

Схема возникновения фазовых искажений при прохождении световой волны сквозь оптический клин

здесь φ – угол при вершине тонкого клина (рисунок). Важно отметить, что для тонкого клина выполняется следующее важное условие: угол при вершине настолько мал, что можно воспользоваться приближением малых углов. Такое приближение позволяет сильно упростить вычисления, при этом практически не воздействуя на общность задачи.

Световое поле после оптического клина имеет вид

$$V_c(x,y,z) = \frac{1}{\sqrt{2}}\exp\left[i(kz-\frac{\pi}{4})\right]\exp\left(-2\pi i\gamma^2\frac{z-z_2}{2\lambda}\right)\sum_{m=-K}^{K} b_m \exp\left\{2\pi i\left[\frac{m}{d}\times\right.\right.$$

$$\left.\left.\times\left[x-\gamma(z-z_2)\right]+\frac{\gamma}{\lambda}x-\frac{m^2\lambda z}{2d^2}\right]\right\}\left\{Fr\left[\sqrt{\frac{k}{\pi z}}\left[b-x+(z-z_2)\gamma+\frac{m\lambda z}{d}\right]\right]-\right.$$

$$\left.-Fr\left[\sqrt{\frac{k}{\pi z}}\left[-b-x+(z-z_2)\gamma+\frac{m\lambda z}{d}\right]\right]\right\}\left\{Fr\left[\sqrt{\frac{\pi}{\lambda z}}(b-y)\right]-Fr\left[\sqrt{\frac{\pi}{\lambda z}}(-b-y)\right]\right\}. \qquad (2)$$

Соотношение (2) показывает, что оптический клин осуществляет смещение вдоль направления оси *x* последовательности саморепродукций, которая формируется световым полем. Помимо этого плоскость восстановления разворачивается на угол γ. Переход к системе координат, которая повернута на угол γ относительно оси, позволяет преобразовать картину восстановления, формируемую световым полем, к картине, формируемой световым полем в отсутствии оптического клина.

Далее рассмотрим объект типа тонкая линза [13] в качестве объекта, вносящего фазовые возмущения в последовательность саморепродукций. В соответствии с [14, 15] фазовое воздействие, осуществляемое тонкой линзой, можно записать в следующем виде:

$$\sigma_L = k\left[n\delta - \left(x_2^2 + y_2^2\right)/2f\right], \tag{3}$$

здесь δ – толщина линзы вдоль её оптической оси, f – фокусное расстояние линзы. Световое поле за тонкой линзой можно записать в следующем виде:

$$V_L(x,y,z) = \frac{\exp(ikz)}{2i\lambda z}\int_{-b}^{b}\int_{-b}^{b}\sum_{m=-M}^{K} b_m \exp(i\frac{2\pi x_2 m}{d})\exp\left\{ik\left[n\delta - \frac{(x_2^2+y_2^2)}{2f}\right]\right\}\times$$
$$\exp\left\{i\frac{\pi}{\lambda z}\left[(x-x_2)+(y-y_2)^2\right]\right\}dx_2dy_2. \tag{4}$$

Рассмотрим интеграл (4) как преобразование Фурье:

$$V_L(x,y,z) = \frac{\exp(ikz)}{2i\lambda z}\exp(ikn\delta)\exp\left[i\frac{\pi}{\lambda z}(x^2+y^2)\right]\int_{-b}^{b}\int_{-b}^{b}\sum_{m=-K}^{K} b_m \exp\left(i\frac{2\pi x_2 m}{d}\right)\times$$
$$\times\exp\left(-i\frac{\pi(x_2^2+y_2^2)}{\lambda f}\right)\exp\left[i\frac{\pi}{\lambda z}(x_2^2+y_2^2)\right]\exp\left[-i\frac{2\pi}{\lambda z}(xx_2+yy_2)\right]dx_2dy_2 \quad . \tag{5}$$

После внесения интеграла под знак суммирования получаем

$$V_L(x,y,z) = \frac{\exp(ikz)}{2i\lambda z}\exp(ikn\delta)\exp\left[i\frac{\pi}{\lambda z}(x^2+y^2)\right]\sum_{m=-K}^{K}\int_{-b}^{b} b_m \exp\left(i\frac{2x_2\pi m}{d}\right)\times$$
$$\times\exp\left[i\frac{\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{z}-\frac{1}{f}\right)x_2^2\right]\exp\left(-i\frac{2\pi}{z\lambda}xx_2\right)dx_2\int_{-b}^{b}\exp\left[-i\frac{\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{z}-\frac{1}{f}\right)y_2^2\right]\exp\left(-i\frac{2\pi}{\lambda z}yy_2\right)dy_2. \tag{6}$$

Перейдем к интегралу по переменной y_2. Изменим этот интеграл с целью упрощения, сделав замену следующим образом:

$$\tau = \frac{\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{z}-\frac{1}{f}\right);\quad \mu = \frac{y}{\lambda z};\quad \vartheta = 2\pi\mu. \tag{7}$$

Представим этот интеграл, обозначив его буквой D, в следующем виде:

$$D = \int_{-b}^{b}\exp(i\tau y_2^2)\exp(-i\vartheta y_2)dy_2. \tag{8}$$

Интеграл (8) можно представить в виде

$$D = \sqrt{\frac{\pi}{2\tau}}\exp\left(i\frac{\pi}{4}\right)\exp\left[-\frac{i\vartheta^2}{(4\tau)}\right]\left[Fr\left(b\sqrt{\tau-\frac{\vartheta}{2\sqrt{\tau}}}\right)-Fr\left(-b\sqrt{\tau-\frac{\vartheta}{2\sqrt{\tau}}}\right)\right]. \tag{9}$$

Возвращаясь к начальным переменным, имеем следующее соотношение:

$$D = \sqrt{\frac{\lambda}{2\left(\frac{1}{z}-\frac{1}{f}\right)}}\exp\left(i\frac{\pi}{4}\right)\exp\left(-i\frac{\pi y^2}{\lambda z}\cdot\frac{f}{f-z}\right)\left[Fr\left(b\sqrt{\frac{\pi(f-z)}{f\lambda z}}-\sqrt{\frac{f\pi}{(f-z)\lambda z}}y\right)-\right.$$
$$\left.-Fr\left(-b\sqrt{\frac{\pi(f-z)}{f\lambda z}}-\sqrt{\frac{f\pi}{(f-z)\lambda z}}y\right)\right]. \tag{10}$$

В случае интеграла по переменной x_2, принимая во внимание то, что в данном случае мы реализуем Фурье-преобразование функции $\exp(i\tau x_2^2)\exp\left(i\frac{2\pi m x_2}{d}\right)$, выражение для результата интегрирования получаем в следующем виде:

$$E = b_m\sqrt{\frac{\pi}{2\tau}}\exp\left(i\frac{\pi}{4}\right)\exp\left[-i\left(\vartheta-\frac{2m\pi}{d}\right)^2\Big/(4\tau)\right]\left[Fr\left(b\sqrt{\tau}-\vartheta-\frac{2\pi m}{d}\Big/2\sqrt{\tau}\right)-\right.$$
$$\left.-Fr\left(-b\sqrt{\tau}-\vartheta-\frac{2\pi m}{d}\Big/2\sqrt{\tau}\right)\right], \qquad (11)$$

где τ, μ, ϑ такие же, как и в (7).

После возврата к начальным переменным имеем следующее выражение для *E:*

$$E = b_m\sqrt{\frac{zf\lambda}{2(f-z)}}\exp(i\frac{\pi}{4})\exp\left\{-i\left(\frac{4\pi^2x^2}{\lambda^2z^2}-\frac{8\pi^2mx}{zd\lambda}+\frac{4\pi^2m^2}{d^2}\right)/\left[\frac{4\pi(f-z)}{zf\lambda}\right]\right\}\times$$

$$\times\left[Fr\left(b\sqrt{\frac{(f-z)\pi}{zf\lambda}}-\frac{\frac{x\pi}{z\lambda}-\frac{m\pi}{d}}{\sqrt{\frac{(f-z)\pi}{zf\lambda}}}\right)-Fr\left(-b\sqrt{\frac{(f-z)\lambda}{zf\lambda}}-\frac{\frac{x\pi}{z\lambda}-\frac{m\pi}{d}}{\sqrt{\frac{(\lambda-z)\pi}{zf\lambda}}}\right)\right]=$$

$$= b_m\sqrt{\frac{zf\lambda}{2(f-z)}}\exp\left(i\frac{\pi}{4}\right)\exp\left[-i\frac{f}{f-z}\left(\frac{\pi}{z\lambda}x^2-\frac{2\pi m}{d}x+\frac{\pi m^2\lambda}{d^2}z\right)\right]\times$$

$$\times\left[Fr\left(b\sqrt{\frac{\pi(f-z)}{zf\lambda}}-\sqrt{\frac{f\pi}{z\lambda(f-z)}}x+\sqrt{\frac{f\pi}{\lambda z(f-z)}}\frac{zm\lambda}{d}-Fr\left(-b\sqrt{\frac{\pi(f-z)}{zf\lambda}}-\right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left.-\sqrt{\frac{\pi f}{\lambda z(f-z)}}x+\sqrt{\frac{f\pi}{\lambda z(f-z)}}\frac{mz\lambda}{d}\right)\right]. \qquad (12)$$

Введем новые переменные

$$zz=\frac{fz}{f-z};\;\; zd=\frac{d(f-z)}{f}. \qquad (13)$$

Окончательное выражение для значения интеграла (6) имеет вид

$$V_L(x,y,z)=\frac{f}{4(f-z)}\exp(ikz)\exp(ikn\delta)\exp\left[-i\frac{\pi}{\lambda}(x^2+y^2)\right]\left\{Fr\left[\sqrt{\frac{\pi}{zz\lambda}}\left(b-\frac{d}{zd}y\right)\right]-\right.$$
$$\left.-Fr\left[\sqrt{\frac{\pi}{zz\lambda}}\left(-b-\frac{d}{zd}y\right)\right]\right\}\sum_{m=-K}^{K}b_m\exp\left[2\pi i\left(\frac{m}{zd}x-\frac{m^2\lambda}{2d^2}zz\right)\right]\times$$
$$\times\left\{Fr\left[\sqrt{\frac{\pi}{zz\lambda}}\left(b-\frac{d}{zd}x+\frac{mzz\lambda}{d}\right)\right]-Fr\left[\sqrt{\frac{\pi}{zz\lambda}}\left(-b-\frac{d}{zd}x+\frac{mzz\lambda}{d}\right)\right]\right\}. \qquad (14)$$

Из (14) можно видеть, что для светового поля распределение за линзой подобно распределению поля в отсутствии линзы, однако период саморепродуцирования светового поля в рассматриваемом случае задается выражением (13) для *zd*.

Обозначив $\frac{zz\lambda}{2d^2} = s$, можно представить соотношение для определения плоскостей саморепродукции в следующем виде:

$$\frac{1}{z_C} = \frac{1}{2d^2 s/\lambda} + \frac{1}{f}. \qquad (15)$$

Из выражения (15) видно, что плоскости саморепродукции сгущаются перед фокальной плоскостью и разрежаются за ней. Масштаб саморепродукций подчиняется соотношению (13) для *zd*. Из (13) видно, что перед фокальной плоскостью размеры саморепродукций уменьшаются, а за ней возрастают.

Выводы

Рассмотрены фазовые среды типа оптический клин и тонкая линза. Показано, что оптический клин осуществляет смещение вдоль направления оси *x* последовательности саморепродукций, которая формируется световым полем. Помимо этого плоскость восстановления разворачивается на некоторый угол γ. Переход к системе координат, которая повернута на угол γ относительно исходной оси, позволяет преобразовать картину восстановления, формируемую световым полем, к картине, формируемой световым полем в отсутствии оптического клина.

Для объекта типа тонкая линза аналитически показано, что для светового поля распределение за линзой подобно распределению поля в отсутствии линзы, но при этом плоскости саморепродукции сгущаются перед фокальной плоскостью и разрежаются за ней. Кроме того, перед фокальной плоскостью размеры саморепродукций уменьшаются, а за ней возрастают.

Список литературы

1. Talbot H.F. Facts relating to optical science. Phil. Mag. 1836. Ser. 3. Vol. 9. Issue 56. P. 401–407.

2. Wen J., Zhang Y., Xiao M. The Talbot effect: recent advances in classical optics, nonlinear optics, and quantum optics. Advances in Optics and Photonics. 2013. Vol. 5. Issue 1. P. 83–130. DOI: 10.1364/AOP.5.000083.

3. Guillet de Chatellus H., Lacot E., Hugon O., Jacquin O., Khebbache N. and Azaña J. Phases of Talbot patterns in angular self-imaging. Journal of the Optical Society of America A. 2015. Vol. 32. Issue 6. P. 1132–1139. DOI: 10.1364/JOSAA.32.001132.

4. Schnébelin C., Guillet de Chatellus H. Spectral interpretation of Talbot self-healing effect and application to optical arbitrary waveform generation. Optics Letters. 2018. Vol. 43. Issue 7. P. 1467–1470. DOI: 10.1364/OL.43.001467.

5. Hector S.D., Swanson G.J. Shared aperture for two beams of different wavelength using reflective phase gratings and the Talbot effect. Applied Optics. 1992. Vol. 31. Issue 34. P. 7267–7276. DOI: 10.1364/AO.31.007267.

6. Fernández-Pousa C.R. On the structure of quadratic Gauss sums in the Talbot effect. Journal of the Optical Society of America A. 2017. Vol. 34. Issue 5. P. 732–742. DOI: 10.1364/JOSAA.34.000732.

7. Zhou P. and Burge J.H. Analysis of wavefront propagation using the Talbot effect. Applied Optics. 2010. Vol. 49. Issue 28. P. 5351–5359. DOI: 10.1364/AO.49.005351.

8. Schnebelin C., Guillet de Chatellus H. Fractional Fourier transform-based description of the Talbot effect: application to analog signal processing. Applied Optics. 2017. Vol. 56. Issue 1. P. A62–A68. DOI: 10.1364/AO.56.000A62.

9. Wen J., Zhang Y., Zhu S.-N., Xiao M. Theory of nonlinear Talbot effect. Journal of the Optical Society of America B. 2011. Vol. 28. Issue 2. P. 275–280. DOI: 10.1364/JOSAB.28.000275.

10. Kim M.-S., Scharf T., Menzel C., Rockstuhl C., Herzig H.P. Talbot images of wavelength-scale amplitude gratings. Optics Express. 2012. Vol. 20. Issue 5. P. 4903–4920. DOI: 10.1364/OE.20.004903.

11. Исманов Ю.Х., Жумалиев К.М., Алымкулов С.А. Особенности голограмм регулярных объектов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 4. С. 73–77.

12. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесщелевой радужной голографии // Вестник КГУСТА. 2015. № 4 (40). С. 194–198.

13. Исманов Ю.Х. Голографическая интерферометрия на основе эффекта Тальбота // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. 2015. № 2. С. 20–23.

14. Исманов Ю.Х., Алымкулов С.А. Саморепродуцирование регулярных объектов с ограниченной апертурой // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2015. № 7. С. 3–5.

15. Maripov A., Ismanov Y. The Talbot effect (a self – imaging phenomenon) in holography. Journal of Optics (0150-536X). 1994. V. 25. No. 1. P. 3–8. DOI: 10.1088/0150-536X/25/1/001.

УДК 533.951:551.594.22

БИСЕРНЫЕ МОЛНИИ КАК СТОХАСТИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ И ДИНАМИКА ВИХРЕЙ

[1]Ижовкина Н.И., [2]Артеха С.Н., [2]Ерохин Н.С., [2]Михайловская Л.А.

[1]Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк, e-mail: izhovn@izmiran.ru;

[2]Институт космических исследований РАН, Москва

На вихревую активность и атмосферные струйные течения влияет неоднородная структура мозаичных распределений воздушных загрязнений. Электрические поля в аэрозольной плазме влияют на возбуждение и нарастание плазменных вихрей. Часть энергии для крупномасштабных вихрей накачивают аэрозольные плазмоподобные подсистемы. В искровых разрядах в атмосфере Земли наблюдаются бисерные молнии. В работе представлены аналитические расчёты параметров электростатических возмущений слоёв гетерогенной плазмы в приближении бесстолкновительного кинетического уравнения Больцмана. При этом рассмотрены: 1) вариант холодной плазмы с дельтаобразным v-распределением; 2) случай горячей плазмы, принимающей во внимание реальный разброс частиц по скоростям. Проведённый анализ данных случаев доказывает, что неоднородная плазма проявляет себя в отношении электростатического типа возмущений как избирательный фильтр. Показано, что образование бисерных структур молниевого разряда зависит от немонотонного распределения электрических полей в горячей неоднородной плазме. Электрические поля вдоль геомагнитных силовых линий ускоряют взаимодействие плазменных вихрей в геомагнитной силовой трубке, способствуют интенсификации возникающей крупномасштабной воздушной структуры. Двойная гиротропия земной атмосферы обеспечивает усиление возникающих структур также за счёт энергетического взаимообмена плазменных вихрей с вихрями Россби. Загрязнения атмосферы аэрозолями влияют на скорость возбуждения атмосферных вихревых структур, что приводит к изменениям погоды и климата.

Ключевые слова: аэрозольная плазма, электростатические возмущения, бисерные молнии, вихревая активность атмосферы, кинетическое приближение

BEAD LIGHTNING AS STOCHASTIC STRUCTURES OF ELECTROSTATIC DISTURBANCES AND VORTEX DYNAMICS

[1]Izhovkina N.I., [2]Artekha S.N., [2]Erokhin N.S., [2]Mikhaylovskaya L.A.

[1]Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of RAS, Troitsk, e-mail: izhovn@izmiran.ru;

[2]Space Research Institute of RAS, Moscow

Vortex activity and atmospheric jet streams are associated with the heterogeneous structure of mosaic distributions of air pollution. Electric fields in aerosol plasma effect on the origination and magnification of plasma vortices. Part of the energy for large-scale vortices is pumped by aerosol plasma-like subsystems. In spark discharges in the Earth's atmosphere, bead lightnings are observed. The paper presents analytical results for calculated parameters of electrostatic disturbances for heterogeneous plasma layers in the approximation of the collisionless kinetic Boltzmann equation. In this case, the following are considered: 1) a variant of cold plasma with a delta-shaped v-distribution; 2) the case of a hot plasma, taking into account the real spread of particles in velocities. The analysis of such cases proves that an inhomogeneous plasma manifests itself in relation to the electrostatic type of perturbations as a selective filter. It is shown that the formation of chain structures of lightnings depends on the nonmonotonic distribution of electric fields in hot inhomogeneous plasma. Electric fields along the geomagnetic field lines accelerate the interaction of plasma vortices in the geomagnetic field tube and contribute to the intensification of the emerging large-scale air structure. The double gyrotropy of the Earth's atmosphere ensures the strengthening of the emerging structures also due to the energy interchange of plasma vortices with Rossby vortices. Air pollution by aerosols affects the rate of excitation of atmospheric vortex structures, which leads to changes in weather and climate.

Keywords: aerosol plasma, electrostatic disturbances, bead lightning, vortex activity of the atmosphere, kinetic approximation

Заряженные атмосферные подсистемы влияют на погоду и климат. При неоднородном нагреве ячеистых структур в атмосфере возбуждаются вихри. Плазменные вихри взаимодействуют с вихрями Россби как вихри скорости частиц. Образование плазменных ячеистых структур проявляется и в разрядах молний (так называемые бисерные молнии). Влияние атмосферных загрязнений на климат отслеживается в усилении вихревых структур. Так, интенсивность торнадо в США нарастает ежегодно на 5%, расширяются географические зоны их действия и сезонные периоды активности. Зарождению и усилению крупномасштабных структур (смерчи, тайфуны, антициклоны) способствует нарастание концентрации аэрозольной примеси. На скорость образования атмосферных вихревых структур влияют электрические поля, возбуждаемые в неустойчивой аэрозольной плазме. Среди механизмов ионизации аэро-

золей следует учитывать ионизацию частиц при трении. Потенциал ионизации аэрозоля как единой частицы относительно составляющих её атомов мал. Добавочная ионизация при этом вызвана действием внешних ионизующих источников [1]. Так, зимой в высокоширотной атмосфере в области геомагнитной полярной шапки генерируются локальные циклонические структуры [2], иногда проникающие до средних широт. Локализация полярных «взрывных» циклонов детерминирована. Как известно, силовые линии земного магнитного поля в области полярной шапки вытянуты в хвост магнитосферы. В результате данный регион менее защищён от проникновения космических лучей в тропосферу и ионизация аэрозолей высыпающимися заряженными частицами провоцирует генерацию атмосферных вихрей [3–5].

Заряженные подсистемы дополнительно поддерживают структуру атмосферных вихрей. Циклонические структуры интенсифицируются при конденсации атмосферной влаги, но теряют массу с осадками. Их энергия теряется на излучение различных волн, в том числе при вспышках молний. Наблюдаются линейные, горизонтальные, вертикальные, ленточные, ветвящиеся, бисерные, вулканические и шаровые молнии, а также разряды на высоковольтных линиях. Представляют интерес исследования электростатических неустойчивостей плазменных неоднородностей, поскольку возбуждение плазменных вихрей связано с образованием мозаичной ячеистой структуры распределения плазмы.

Аэрозольные плазменные вихри подпитывают некоторой долей энергии атмосферные структуры [6, 7]. Электрические поля аэрозольных плазмоподобных подсистем могут возбуждаться при движении ионизованной системы ортогонально геомагнитному полю, при этом само поле **H** не производит работы над плазмой. Сила Лоренца равна нулю вдоль силовых линий магнитного поля Земли, т.е. можно использовать приближение незамагниченной плазмы для расчётов вдоль данного направления. Настоящая статья представляет результаты анализа самосогласованной модуляции слоёв гетерогенной плазмы электростатическими возмущениями.

Цель исследования: показать, что в слое неоднородной плазмы возмущения электростатического типа являются причиной образования мозаичных структур и инициируют возбуждение атмосферного МГД-генератора. Электрические поля вдоль геомагнитного поля способствуют формированию ячеистых плазменных структур, ускоряют взаимодействие плазменных вихрей в геомагнитной силовой трубке и нарастание атмосферной вихревой структуры. Ячеистые структуры электростатических возмущений визуально наблюдаются в разрядах молний – так называемые бисерные молнии. Параметры неустойчивости неоднородной нестационарной плазмы рассчитывались в кинетическом приближении.

Электростатические возмущения в аэрозольной плазме

Ионизация аэрозолей усиливает возбуждение вихревых структур. В аэрозольных подсистемах генерируются апериодические электромагнитные поля. Интенсификация случайных электростатических возмущений получается при расчётах даже в приближении холодной плазмы, т.е. неоднородная плазма гарантированно трансформируется в мозаичную структуру. Следовательно, образование ячеистой структуры определяется электростатической неустойчивостью плазменной системы в направлении, параллельном магнитным силовым линиям. А в приближении горячей плазмы чередующаяся «бисерная» структура возмущений демонстрирует себя даже визуально.

Для вывода аналитического решения воспользуемся приближением бесстолкновительного кинетического уравнения Больцмана и получим выражение для диэлектрической проницаемости плазмы. Записав самосогласованное уравнение Власова для функции распределения электронов

$$\left\{\frac{\partial}{\partial t}+\mathbf{v}\nabla+\frac{e}{m}\left(\mathbf{E}+\frac{\mathbf{v}\times\mathbf{B}}{c}\right)\nabla_{\mathbf{v}}\right\}f=0$$

и выполнив преобразования Фурье

$$f(\mathbf{v},\mathbf{r},t)=\int\exp(i\mathbf{K}\mathbf{v})\tilde{f}(\mathbf{K},\mathbf{r},t)\frac{\mathrm{d}\,\mathbf{K}}{(2\pi)^3},$$

$$\tilde{f}(\mathbf{K},\mathbf{r},t)=\int f(\mathbf{v},\mathbf{r},t)\exp(-i\mathbf{K}\cdot\mathbf{v})\,\mathrm{d}\,\mathbf{v},$$

для Фурье-образа получаем

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}+i\nabla\nabla_{\mathbf{K}}+\frac{ie}{m}\mathbf{K}\cdot\mathbf{E}\right)\tilde{f}=0.$$

С помощью функции распределения легко найти макровеличины системы (плотность плазмы, её поток и плотность её энергии):

$$n(\mathbf{r},t)=\int f(\mathbf{v},\mathbf{r},t)\,\mathrm{d}\,\mathbf{v}=\tilde{f}(\mathbf{K}=0,\mathbf{r},t),$$

$$\Gamma(\mathbf{r},t)=\int\mathbf{v}f(\mathbf{v},\mathbf{r},t)\,\mathrm{d}\,\mathbf{v}=i\nabla_{\mathbf{K}}\,\tilde{f}(\mathbf{K},\mathbf{r},t)\Big|_{\mathbf{K}=0},$$

$$\mathbf{P}(\mathbf{r},t) = m\int \mathbf{v}\mathbf{v} f(\mathbf{v},\mathbf{r},t)\,\mathrm{d}\,\mathbf{v} = m\nabla_{\mathbf{K}}\nabla_{\mathbf{K}}\,\tilde{f}(\mathbf{K},\mathbf{r},t)\Big|_{\mathbf{K}=0},$$

$$P(\mathbf{r},t) = \frac{m}{2}\int \mathrm{v}^2 f(\mathbf{v},\mathbf{r},t)\,\mathrm{d}\,\mathbf{v} = \frac{1}{2}\mathrm{Trace}(\mathbf{P}).$$

В линейном приближении $f \to f_0 + f$ для $E \sim f$ получим

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + i\nabla\nabla_{\mathbf{K}}\right)\tilde{f} = -\frac{ie}{m}\mathbf{K}\cdot\mathbf{E}\tilde{f}_0.$$

Это линеаризованное уравнение может быть решено методом интегрирующего множителя. Воспользовавшись малостью начальных возмущений, получаем формальное решение:

$$f(t) = \int_0^\infty \exp(-i\nabla\nabla_{\mathbf{K}}\tau)F(t-\tau)\,\mathrm{d}\,\tau,$$

$$F(t-\tau) = -\frac{ie}{m}\mathbf{K}\cdot\mathbf{E}\tilde{f}_0(\mathbf{K},\mathbf{r},t-\tau).$$

Чтобы получить выражение для диэлектрической проницаемости, запишем $\mathbf{E} = \nabla\varphi$ и уравнение Пуассона: $\Delta\varphi = -4\pi e\int f\,\mathrm{d}\,\mathrm{v}$ для возмущённой функции f. После всех подстановок дисперсионное уравнение имеет в операторной ($\mathbf{A} \equiv -i\tau\nabla$) форме следующий вид:

$$\int k^2\tilde{\varphi}(\mathbf{k},\omega)\exp(i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r})\,\mathrm{d}\,\mathbf{k} = -\frac{4\pi e^2}{m}\times$$

$$\left\{\int_0^\infty \exp(i\omega\tau)\,\mathrm{d}\,\tau \times \exp(\mathbf{A}\nabla_{\mathbf{K}})\int \mathbf{k}\exp(i\mathbf{k}\mathbf{r})\tilde{\varphi}(\mathbf{k},\omega)\mathbf{K}\tilde{f}_0(\mathbf{r},\mathbf{K})\,\mathrm{d}\,\mathbf{k}\right\}_{\mathbf{K}=0}. \qquad (1)$$

Начнём с приближения горячей плазмы. Функцию распределения электронов (параллельную оси z) выберем в следующем виде:

$$f_0 = \frac{N_0\exp(-z^2/b^2)\exp(-\mathrm{v}_z^2/\alpha^2)}{\sqrt{2\pi}\alpha},$$

где α – квазимаксвелловская z-компонента тепловой скорости. Дисперсионное уравнение для электростатических возмущений может быть выведено из выражения (1), так как спектральные компоненты обладают свойством ортогональности:

$$\varepsilon = 1 + \frac{\sqrt{\pi}b\omega_p^2}{\sqrt{2}k^2\alpha^2}\exp(-ikz)\times$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{d}\,k_2\left\{\frac{k}{k_2}2(xZ(x)+1)\exp[-(k_2-k)^2b^2/4]\exp(ik_2z)\right\} = 0, \qquad (2)$$

где $Z(x)$ – плазменная дисперсионная функция, $x = \omega/(k_2\alpha)$,

$$Z(x) = i\int_0^\infty \mathrm{d}\,\tau\exp(ix\tau - \tau^2/4).$$

Итак, в отношении стохастических электростатических возмущений из (2) следует, что неоднородность в случае горячей плазмы проявляет себя как избирательный фильтр.

Перейдём теперь к случаю холодной плазмы. Выберем в качестве распределения по скоростям символическую дельта-функцию:

$$f_0(z, \mathrm{v}_z) = N_0 \exp(ct) \exp(-z^2 / b^2) \delta(\mathrm{v}_z).$$

Тогда при $c < 0$ можно получить аналогичное дисперсионное уравнение для электростатических возмущений плазмы:

$$\varepsilon = 1 + \omega_p^2 \exp(ct) \exp(-z^2 / b^2) \times$$

$$\frac{[1 + 2zi / (kb^2)](c^2 - \omega^2 + 2i\omega c)}{(c^2 + \omega^2)^2} = 0. \quad (3)$$

Заметим, что предельный переход $c \to 0,\ b \to \infty$ даёт $\varepsilon = 1 - \omega_p^2 / \omega^2 = 0,$ то есть имеем корректный переход к дисперсионному уравнению холодной однородной плазмы; здесь $\omega_p = \sqrt{4\pi N_0 e^2 / m}$ – плазменная частота.

Выражение (3) демонстрирует апериодическую модуляцию электростатического возмущения плазмы при $\omega < \omega_p$. Для $f_0(z, \mathrm{v}_z) = N_0 \exp(-z^2 / b^2) \delta(\mathrm{v}_z)$ окончательно имеем

$$k = \frac{(2zi\omega_p^2 / b^2\omega^2) \exp(-z^2 / b^2)}{1 - (\omega_p^2 / \omega^2) \exp(-z^2 / b^2)},$$

где k характеризует пространственный масштаб электростатических флуктуаций.

Таким образом, неоднородность плазмы проявляет себя как немонотонный фильтр для стохастических электростатических возмущений. Возникающее расслоение способствует мозаичному распределению аэрозольных подсистем и возбуждению в них плазменных вихрей. В канале молнии немонотонное расслоение электростатических возмущений неоднородной плазмы наблюдается визуально в виде бисерной молнии.

Для аэрозольной плазмы в атмосфере применимо приближение холодной плазмы за исключением областей искровых разрядов. Для каналов молнии необходимо рассматривать приближение горячей неоднородной плазмы. Поскольку температура в каналах молнии нарастает до 10^4 градуса, давление до сотен атмосфер, влияние геомагнитного поля на плазму ослабевает – молнии искрят во всех направлениях. Немонотонная «бисерная» структура электростатических возмущений горячей неоднородной плазмы проявляется и по результатам аналитических расчётов диэлектрической проницаемости – сомножитель $\exp(-ikz)$ перед интегралом в формуле (2). Влияние аналогичного члена под интегралом сглаживается интегрированием. Параметры неустойчивости горячей неоднородной плазмы рассчитывались в кинетическом приближении. Из расчётов следует, что электростатические возмущения неоднородной плазмы провоцируют формирование ячеистых структур.

Электрические поля придают подвижность плазменным вихрям, ускоряют их взаимодействие. В среде с двойной гиротропией усиливаются атмосферные вихревые структуры, поскольку плазменные вихри и вихри Россби взаимодействуют как вихри скорости частиц.

Вулканические извержения поставляют довольно много аэрозоля в земную атмосферу. При этом наблюдаются вулканические молнии (плазменные образования), т.е. ионизация может осуществляться не только космическими лучами, но и термически (и трением). Таким образом, атмосферные процессы зависят от многих факторов. Все виды ионизации аэрозолей мы рассматриваем в качестве климатического влияния. В динамике аэрозольных подсистем заметное влияние имеют электрические поля, усиливающие атмосферную вихревую активность [7–9]. При фазовых переходах влаги, инициируемых заряженными аэрозолями, генерируются плазменные вихри, а неравномерный нагрев подобных мозаичных структур влияет и на образование крупномасштабных атмосферных вихрей.

В циклоне градиент давления направлен вдоль радиус-вектора (к периферии), что вызвано конденсацией влаги в облаках и ростом «оптической толщины» вышележащего атмосферного слоя (∇P увеличивается в окрестности облачной тени). Он вынуждает двигаться влажную массу воздуха к центру, а конденсирующуюся влагу выделять скрытую теплоту (при этом движении скорость конденсации уменьшается). Роль аэрозольной плазмы наглядно проявляется в интенсификации смерчей. В антициклоне градиент давления направлен к центру и процесс образования не может быть самоподдерживающимся (хотя внутри антициклона возможно кратковременное образование более мелких циклонических ячеек). Локальные дожди и осаждение аэрозолей из атмосферы способствуют ослаблению погодного влияния антициклонов. Взаимодействие пары циклон – антициклон при накоплении ионизованных аэрозолей и усилении антициклонической структуры имеет свои особенности. Так, блокирующий антициклон, отклоняя циклон, движущийся с запада на север, сам при этом остаётся неподвижным, продолжая усиливаться. Его рост

определяется нагревом подстилающей поверхности и влиянием аэрозольной плазмы.

Заключение

Неустойчивости аэрозольной плазмы в атмосфере проявляются в разрядах молний. При нагреве мозаичных ячеистых структур плазмы возбуждается МГД-генератор с плазменными вихрями в аэрозольных подсистемах. При последующем объединении плазменных вихрей и их энергообмене с вихрями Россби генерируются различные атмосферные вихри (смерчи, ураганы, антициклоны). Часть энергии структур накачивается плазменными вихрями.

Ячеистые структуры образуются и в разрядах молнии. В бисерных (цепных) молниях ячеистые структуры наблюдаются визуально. Из аналитических расчётов параметров неустойчивости горячей неоднородной плазмы образование таких структур представляется стохастически детерминированным. Электростатические возмущения неоднородной плазмы с магнитным полем связывают с МГД-эффектом, возбуждением электрических полей в потоках плазмы на градиентах давления ортогонально внешнему магнитному полю.

В работе представлены аналитические расчёты параметров неустойчивости горячей неоднородной плазмы. Применительно к атмосфере полученные решения соответствуют направлению электрических полей вдоль геомагнитного поля, а также для областей горячей плазмы в разрядах молнии. В расчётах использовано кинетическое приближение, учитывается распределение частиц в пространстве скоростей (а для холодной плазмы выбрано распределение в виде δ-функции). Диэлектрическая проницаемость для электростатических возмущений зависит от координат немонотонно, что вызывает расслоение неоднородной плазмы и образование ячеистых структур в стохастических электрических полях. Эти поля вдоль геомагнитных силовых линий ускоряют взаимодействие плазменных вихрей в геомагнитной силовой трубке, способствуют усилению атмосферной вихревой структуры. На возбуждение и усиление торнадо влияют и внешние источники ионизации – космические лучи. Расширяются и появляются новые географические зоны действия и временные периоды активности торнадо. Эти эффекты связаны с загрязнениями атмосферы и океана. Нарастает влияние на климатические качели аэрозольных загрязнений антропогенного происхождения.

Список литературы

1. Пудовкин М.И., Распопов О.М. Механизм влияния солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеорологические параметры – обзор // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т. 32. № 5. С. 1–22.

2. Луценко Э.И., Лагун В.Е. Полярные мезомасштабные циклонические вихри в атмосфере Арктики. Справочное пособие. СПб.: ФГБУ «ААНИИ», 2010.

3. Бондур В.Г., Пулинец С.А., Ким Г.А. О роли вариаций галактических космических лучей в тропическом циклогенезе на примере урагана Катрина // ДАН. 2008. Т. 422. С. 244–249. DOI: 10.1134/S1028334X08070283.

4. Shumilov O.I., Vashenyuk E.V., Henriksen K. Quasi-drift effects of high-energy solar cosmic rays in the magnetosphere. J. Geophys. Res. 1993. Vol. 98. No. A10. P. 17423–17427. DOI: 10.1029/93JA01050.

5. Krivolutsky A.A., Repnev A.I. Impact of space energetic particles on the Earth's atmosphere (a review). Geomagnetism and Aeronomy. 2012. Vol. 52 (6). P. 685–716. DOI: 10.1134/S0016793212060060.

6. Izhovkina N.I., Artekha S.N., Erokhin N.S., Mikhaylovskaya L.A. Interaction of atmospheric plasma vortices. Pure and Applied Geophysics. 2016. Vol. 173. Iss. 8. P. 2945–2957. DOI: 10.1007/s00024-016-1325-9.

7. Izhovkina N.I., Artekha S.N., Erokhin N.S., Mikhaylovskaya L.A. Aerosol, plasma vortices and atmospheric processes. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2018. Vol. 54. No. 11. P. 1513–1524. DOI: 10.1134/s0001433818110038.

8. Artekha S.N., Belyan A.V. On the role of electromagnetic phenomena in some atmospheric processes. Nonlinear Processes in Geophysics. 2013. Vol. 20. P. 293–304. DOI: 10.5194/npg-20-293-2013.

9. Синкевич О.А., Маслов С.А., Гусейн-заде Н.Г. Электрические разряды и их роль в генерации вихрей // Физика плазмы. 2017. Т. 43. № 2. С. 203–226. DOI: 10.7868/S0367292117020147.