

УДК 534.7+621.391.8

## ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗВУКОВ ДЫХАНИЯ У ДЕТЕЙ С БРОНХОЛЕГОЧНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

Е. А. ЕМЧИНСКАЯ\*, Л. И. КОСОВЕЦ\*\*, А. А. МАКАРЕНКОВА\*\*

\*Национальный медицинский университет им. А. А. Богомольца, кафедра педиатрии № 4, Киев

\*\*Институт гидромеханики НАН Украины, Киев

Получено 23.11.2010

С помощью компьютерного комплекса "CoRA-03M1" зарегистрированы, классифицированы и проанализированы звуки дыхания детей с различными бронхолегочными заболеваниями. Сравнительный анализ показал высокую достоверность и надежность в обнаружении респираторных обструкций по сравнению с исследованием с помощью механического стетофонендоскопа. Это свидетельствует об эффективности использования компьютерной фоноспирографии в медицинской практике.

За допомогою комп'ютерного комплексу "CoRA-03M1" зареєстровано, класифіковано й проаналізовано звуки дихання дітей з різними бронхолегочними захворюваннями. Порівняльний аналіз показав високу достовірність і надійність у виявленні респираторних обструкцій у порівнянні з дослідженням за допомогою механічного стетофонендоскопа. Це свідчить про ефективність використання комп'ютерної фоноспирографії у медичній практиці.

Respiratory sounds from children with various bronchopulmonary diseases have been recorded, classified and analyzed by means of a computer complex "CoRA-03M1". A comparative analysis has shown high reliability and credibility in detecting of respiratory obstructions in comparison with investigation by mechanical stethophonendoscope. This is the evidence of efficiency of using of the computer phonospirography in medical practice.

### ВВЕДЕНИЕ

Бронхит, пневмония и бронхиальная астма относятся к наиболее распространенным заболеваниям у детей и подростков [1]. Аускультация (выслушивание) звуков дыхания человека – один из стандартных клинических методов диагностики заболеваний органов дыхания, неразрывно связанный с использованием привычного механического стетофонендоскопа. Понятно, что при традиционной аускультации диагност получает лишь качественное представление об изменениях в бронхолегочной системе. Поэтому объективизация субъективного восприятия звуков дыхания врачом и оценка количественных характеристик аускультативных признаков (интенсивности, длительности, частотного диапазона звуков дыхания) остается актуальной проблемой современной медицины.

В связи с этим для более детального и объективного выслушивания звуков дыхания, а также количественной их оценки у детей целесообразно использовать компьютерную фоноспирографию. Технические возможности предлагаемого метода (высокая чувствительность, линейность амплитудно-частотной характеристики, визуализация звуковых феноменов, спектральный и корреляционный анализ) позволяют выявлять аускультативные признаки, недоступные при проведении традиционной аускультации [2–4].

Цель данной работы состоит в изучении акустических характеристик звуков дыхания у детей с заболеваниями бронхолегочной системы, выявлении и объективизации аускультативных признаков, оценке их качественных и количественных параметров. Предпринята попытка сравнения эффективности выявления аускультативных признаков бронхолегочных заболеваний врачом с помощью стетофонендоскопа и компьютерного фоноспирографического комплекса.

### 1. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЛЕГКИХ У РЕБЕНКА

Структура бронхолегочной системы детей имеет ряд отличий от структуры аналогичных органов у взрослых, поэтому целесообразно начать с краткого их рассмотрения. Объем легкого у ребенка в процессе постнатального развития увеличивается более чем в 20 раз (с 250 мл до 6 л), а диаметр бронхов – в 2–3 раза, масса легкого возрастает в 10–15 раз (с 50 до 750 г), число альвеол – в 15 раз (с 20 до 300 млн). Диаметр трахеи ребенка к 15-летнему возрасту удваивается. Напомним, что в состав трахеи человека входят 12–20 хрящевых колец, число которых в последующем не меняется. Размер бронхов за период взросления ребенка отстает от возрастания массы и объема легкого поэтому у грудного ребенка отношение этих величин

больше, чем у взрослого. Площадь сечения мелких бронхов у детей первых лет жизни меньше, чем у взрослых. По данным [5], показатель специфической проводимости (на 1 г ткани легких) центральных бронхов (до 15-й генерации) у детей и взрослых не различается. В то же время, для периферических бронхов детей первых пяти лет этот параметр в 2–4 раза меньше, чем у детей более старшего возраста.

Е. Мотоуама в 1977 г. показал, что в раннем возрасте растяжимость легких и проводимость нижних дыхательных путей в расчете на единицу объема легкого больше, чем у взрослых. Очевидно, что высокие растяжимость и проводимость дыхательных путей представляют собой важный механизм, они улучшают вентиляцию легких у ребенка (все основные объемы и жизненные емкости легких на единицу длины тела у детей и взрослых одинаковы). Предрасположенность детей раннего возраста к развитию обструктивных процессов в бронхолегочной системе может быть объяснима малым диаметром мелких бронхов и бронхиол. По данным [1] терминальные бронхиолы новорожденного имеют диаметр 0.1 мм, а у взрослых – (0.4...0.5) мм. Ясно, что отек слизистой оболочки в мелких бронхах и бронхиолах вызывает большее относительное сужение, чем в более крупных. Развитию обструкции способствует также значительно меньшее количество мышечной и соединительной тканей в стенках бронхов новорожденно-го, которые с возрастом утолщаются за их счет.

У детей грудного и раннего возраста толщина внутреннего слоя в стенке бронхов – наибольшая. Слизистая оболочка у них рыхлая, хорошо развиты хрящи. В возрасте 3–4 лет в стенке трахеи и бронхов развивается мышечная ткань в виде двух слоев – внутреннего и наружного. Слизистая оболочка уплотняется, дифференцируется эластический каркас, хорошо развита мышечная и соединительная ткань.

Альвеолы новорожденного по размеру в четыре раза меньше, чем у взрослого. Поэтому при меньшем их количестве обеспечивается большая площадь газообмена на единицу объема легкого (у ребенка, как и у взрослого, внутренняя поверхность альвеол составляет около  $1 \text{ м}^2/\text{кг}$ ). Новые альвеолы наиболее интенсивно образуются в течение первых двух лет жизни и этот процесс полностью заканчивается к 8 годам. У детей в возрасте 2 лет размеры альвеол меньше, чем у взрослых, в последующем происходит в основном увеличение их размеров. Поэтому уровень звуков дыхания у детей весьма низок и зарегистрировать эти звуки намного сложнее.

## 2. ИЗМЕНЕНИЯ В БРОНХОЛЕГОЧНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЕ, БРОНХИТЕ И ПНЕВМОНИИ

Для понимания физической природы возникновения дополнительных звуков дыхания в респираторной системе у детей, больных бронхиальной астмой, бронхитом и пневмонией, рассмотрим морфологические изменения, специфические для каждого из этих заболеваний. Содержание этого раздела основано на современных представлениях пульмонологов [1].

Ведущую роль в патогенезе бронхиальной астмы играет повышенная реактивность бронхов, провоцирующая их периодическую обратимую обструкцию. К сужению бронхов приводят спазм гладких мышц, гиперсекреция слизи и отек слизистой оболочки. Обструкция усиливается во время выдоха, поскольку при этом происходит динамический стеноз дыхательных путей и часть воздуха задерживается в альвеолах (эффект воздушной ловушки). Это приводит к перерастяжению легких, росту продолжительности выдоха и образованию стенотических шумов. Повышенное сопротивление дыхательных путей приводит к увеличению работы дыхательной системы, так как включаются вспомогательные мышцы, появляется одышка. При бронхиальной астме в дыхательных путях образуется густая, вязкая слизь, которая может частично или полностью перекрывать просвет бронхов [6, 7]. В патологический процесс могут вовлекаться крупные, средние и мелкие бронхи, однако чаще всего на первый план выступает обструкция мелких бронхов. Шумное, свистящее дыхание наблюдается при обструкции крупных бронхов, а приступы одышки и кашля более характерны для обструкции мелких бронхов [5–7].

Бронхит представляет собой воспалительное поражение бронхов любого калибра. В большинстве случаев причиной развития бронхита у детей являются инфекционные агенты (вирусы, бактерии или их ассоциации). При этом патогенный микроорганизм повреждает слизистую оболочку бронхов, нарушая функцию реснитчатых клеток, вызывает гиперсекрецию вязкого трахеобронхиального секрета и, как следствие, неравномерную обтурацию бронхов отечно-воспалительного генеза [1].

При пневмонии возбудитель проникает и распространяется бронхогенным путем с последующим возникновением воспалительного процесса в ацинусах – структурно-функциональных единицах легкого. В дальнейшем прогрессирование воспалительного процесса осуществляется за счет

увеличения уже имеющихся очагов или возникновения новых очажков в более отдаленных участках легких [1, 6, 8]. Гематогенное проникновение осуществляется по сосудам большого круга кровообращения, но этот путь имеет меньшее патогенетическое значение.

Проникая в легкие, бактерии воздействуют токсинами и ферментами, вызывая повреждение интерстициальной и альвеолярной ткани. Развивается отек, повышение проницаемости сосудистой стенки с последующим диапедезом эритроцитов и белков в просвет альвеол. Это способствует снижению содержания сурфактанта, нарушению поверхностного натяжения альвеол, возникновению микро- и макроателектазов [7, 8].

Для детского возраста характерно развитие бронхопневмоний. К ним относятся очаговая бронхопневмония и сегментарная (полисегментарная) пневмония. При очаговой бронхопневмонии воспалительные очаги располагаются диффузно, локализуясь в нескольких сегментах или захватывают всю долю легкого. Напротив, при сегментарной пневмонии патологический процесс занимает сегмент или нескольких сегментов. Каждая из этих форм имеет достаточно четкие клинкорентгенологические различия, которые и позволяют их разграничивать [6, 8].

### 3. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Несмотря на технический прогресс в медицинском приборостроении, в настоящее время для диагностики заболеваний бронхолегочной системы человека чаще всего используют метод традиционной аускультации с помощью механического стетофонендоскопа. Анализ слуховых образов, полученных врачом во время аускультации, связан с особенностями его слуха и практическим опытом. В последние десятилетия выполнен ряд важных исследований, цель которых – разработка новых неинвазивных экологически безопасных методов диагностики заболеваний бронхолегочной системы человека. На сегодняшний день они привели к возникновению метода цифровой аускультации, с помощью которого можно получить качественную и количественную оценку звуков дыхания человека, выявить и объективировать аускультативные признаки бронхолегочного заболевания [9, 11, 12].

В данной работе приведены результаты исследований звуков дыхания у детей с респираторными заболеваниями, проводившихся совместно Институтом гидромеханики НАН Украины и Институтом фтизиатрии и пульмонологии им. Ф. Г. Янов-

ского АМН Украины в период с октября 2009 г. по сентябрь 2010 г. Для электронной аускультации использовался компьютерный фоноспирографический комплекс “КоРА-03М1”, разработанный в Институте гидромеханики НАН Украины под руководством академика В. Т. Гринченко [13, 14]. Он позволяет регистрировать звуки дыхания, обрабатывать, визуализировать, анализировать и архивировать респираторные сигналы, что значительно облегчает “прочтение” полученных данных и их анализ. Была проведена электронная цифровая аускультация звуков дыхания у детей с различными заболеваниями бронхолегочной системы (бронхиальная астма, пневмония, бронхит). Сопоставлены акустические характеристики больных с аналогичными характеристиками здоровых детей, рассмотрены физические модели генерации дополнительных звуковых артефактов.

### 4. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как уже отмечалось, электронная регистрация, обработка и визуализация звуков дыхания пациентов проводилась с помощью сертифицированного четырехканального компьютерного фоноспирографического комплекса “КоРА-03М1”. В качестве электроакустических преобразователей в нем используются оригинальные акселерометры с линейной амплитудно-частотной характеристикой в диапазоне частот (20...2000) Гц, чувствительностью 15 мВ/с<sup>2</sup> и массой 12 г, разработанные в Институте гидромеханики НАН Украины [14]. Во время записи звуков дыхания устранялись внешний шум, вибрации от движений пациента или оператора комплекса и т. п., а также электромагнитные наводки от работы медицинских приборов, компьютеров, мобильных телефонов и пр., уменьшающие соотношение сигнал/помеха [15], а следовательно, эффективность регистрации.

Запись звуков дыхания пациентов осуществлялась синхронно в четырех точках на поверхности грудной клетки: на уровне 2-го межреберья по среднеключичной линии справа и слева – точки “2Пр” и “2Лв” соответственно, на уровне 7-го межреберья под углом лопатки справа и слева – точки “7Пр” и “7Лв”. Регистрация сигнала проводилась в течение 18.6 секунд в режиме “спокойное глубокое дыхание”. Для получения качественных результатов каждую запись повторяли два и более раз.

Обработка зарегистрированных сигналов проводилась с помощью специального программного продукта, разработанного для комплекса “КоРА-03М1”. Оценка состояния бронхолегочной систе-

мы пациентов проводилась на основе анализа фоноспирограмм, представляющих собой частотно-временную визуализацию звуков дыхания человека (временную развертку “мгновенных спектров”).

Мы выделили две основные группы пациентов:

- 1) дети с заболеваниями бронхолегочной системы (бронхиальной астмой, средней или тяжелой степени), бронхитами (рецидивирующий, хронический, обструктивный), пневмониями (очаговая, моно-, полисегментарная, долевая), – 52 пациента;
- 2) здоровые дети – 13 человек.

Характер заболевания и диагноз устанавливался врачом с помощью стандартных клинических методов диагностики (спирометрии, рентгена).

Кратко отметим особенности заболеваний обследованных детей. Как видно из табл. 1, в 48 % случаев бронхолегочная патология развивалась у детей до 6 лет. Практически в половине случаев (43.2 %) диагностировался бронхит. При этом у детей в возрасте до 6 лет в структуре заболевания преобладал обструктивный бронхит, а от 7 до 18 лет – рецидивирующий и хронический. Диагноз бронхиальной астмы после 7 лет устанавливался на 42 % чаще. В структуре пневмоний у детей младшего возраста доминировала очаговая бронхопневмония, а у детей старшего возраста – сегментарная форма.

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗВУКОВ ДЫХАНИЯ У ДЕТЕЙ С БРОНХОЛЕГОЧНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

В процессе аускультации звуков дыхания пациента стетофонендоскопом врач анализирует частотную полосу сигнала (определяет тональность звука и его высоту) и его временные характеристики (длительность вдоха, длительность выдоха, продолжительность паузы) [17]. Визуализация, осуществляемая с помощью комплекса “КоРА-03М1”, позволяет в реальном масштабе времени определять частотно-временные компоненты и интенсивность звуков дыхания человека.

Сравнительный анализ фоноспирограмм здоровых детей (рис. 1) и пациентов с бронхолегочными заболеваниями позволил установить качественные и количественные различия в параметрах дыхательного цикла (продолжительности вдоха, выдоха, паузы) частотных диапазонах, интенсивности звуков дыхания (табл. 2). Зарегистрированные их характеристики (аускультативные признаки) идентифицировались в зависимости от вида забо-

левания. За 100 % здесь приняты величины для здоровых детей.

В результате проведенных исследований установлено, что частотное наполнение звуков дыхания здоровых и больных детей существенно отличается. Диапазон основных дыхательных шумов пациентов, больных бронхитом, очаговой бронхопневмонией и бронхиальной астмой, – шире, чем у здоровых. Выявлено, что у больных очаговой пневмонией частотные полосы вдоха и выдоха простираются на 53 % выше, чем у здоровых детей. При сегментарной пневмонии этот показатель существенно снижается – на 46 %. У пациентов с бронхиальной астмой ширина частотного диапазона превышает возрастную норму более, чем на 46 %, а у детей с бронхитом без обструктивного синдрома на – 17 %. При наличии обструкции этот показатель увеличивается до 21 %.

Кроме того, длительность дыхательного цикла у больных и здоровых детей различается. У больных бронхиальной астмой, бронхитом с обструктивным синдромом и пневмонией дыхательный цикл сокращается, что свидетельствует о наличии одышки. Это обусловлено сокращением продолжительности дыхательной паузы практически вдвое. Отмечаются и различия в длительности вдоха и выдоха. Нами обнаружено, что у детей с бронхиальной астмой и обструктивным бронхитом выдох превалирует над вдохом в среднем на (4...6) %. В то же время, у пациентов с бронхитом без обструктивного синдрома длительность фаз дыхательного цикла не изменяется.

Анализ фоноспирограмм также показал, что интенсивность звуков дыхания больных детей отличается от показателей контрольной группы. Средний уровень звуков дыхания детей, больных бронхитом, повышается на (2...3) дБ, а бронхиальной астмой и пневмонией – на (2...4) дБ и (3...6) дБ соответственно.

В процессе анализа фоноспирограмм здоровых детей отмечена переменность темпа дыхания и частотных характеристик основных дыхательных шумов в зависимости от возраста пациента. У детей старшей возрастной категории наблюдается тенденция к менее частому дыханию, а также сужение частотного диапазона респираторных звуков по сравнению с детьми младшего возраста.

### 5.1. Особенности звуков дыхания детей, больных бронхиальной астмой и обструктивным бронхитом

Все обследуемые дети имели персистирующую форму бронхиальной астмы (обострение) и об-

Табл. 1. Группы обследованных пациентов с бронхолегочными заболеваниями

Возраст (лет)	Бронхиты		Пневмонии		Бронхиальная астма	Всего
	без обструкции	обструктивный	очаговая	моно/поли-сегментарная		
1–6	3	6	8	1	5	25
7–11	3	1	1	4	6	16
12–18	7	2	0	2	3	11
Все группы	13	9	9	7	14	52
	22		16			

Табл. 2. Межгрупповые отличия в характеристиках звуков дыхания (в %)

№ п/п	Обследуемая группа	Частот. диапазон	Продолжительность				
			дых. цикла	вдоха	выдоха	паузы	
1	Здоровые	100	100	100	100	100	
2	Бронх. астма	146±14	82.4±11	98±8	112±3	58±6	
3	Бронхит	обструкт.	138±15	83.5±12	98±6	111±5	55±7
		без обстр.	117±15	101.5±6	98±6	98±6	98±6
4	Пневмония	очаговая	153±12	90±14	92±4	94±8	68±6
		сегмент.	54±17	87.4±11	91±6	92±6	55±4

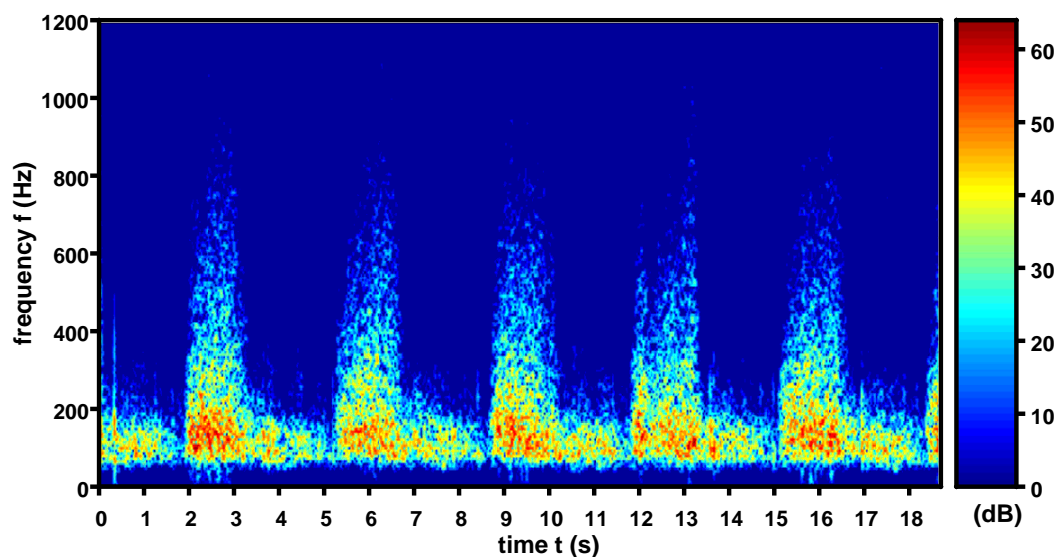


Рис. 1. Фоноспирограмма звуков дыхания здорового 10-летнего ребенка (т. 7Лв)

структивный бронхит со средним или среднетяжелым течением болезни и дыхательной недостаточностью первой – второй степени.

У детей с обструктивным бронхитом и бронхиальной астмой в приступном периоде при наличии одышки за счет уменьшения продолжительности дыхательной паузы укорачивался дыхательный цикл. В 95.6 % случаев отмечалось удлине-

ние выдоха на 12 % от возрастной нормы. Анализ фоноспирограмм показал, что у этих больных наблюдается расширение частотного диапазона основных звуков дыхания на 46 %, причем их спектральный состав на вдохе и выдохе сближается (появляется жесткость). Кроме жесткого дыхания, у таких пациентов в 91.3 % случаев регистрируются узкополосные высокоинтенсивные то-

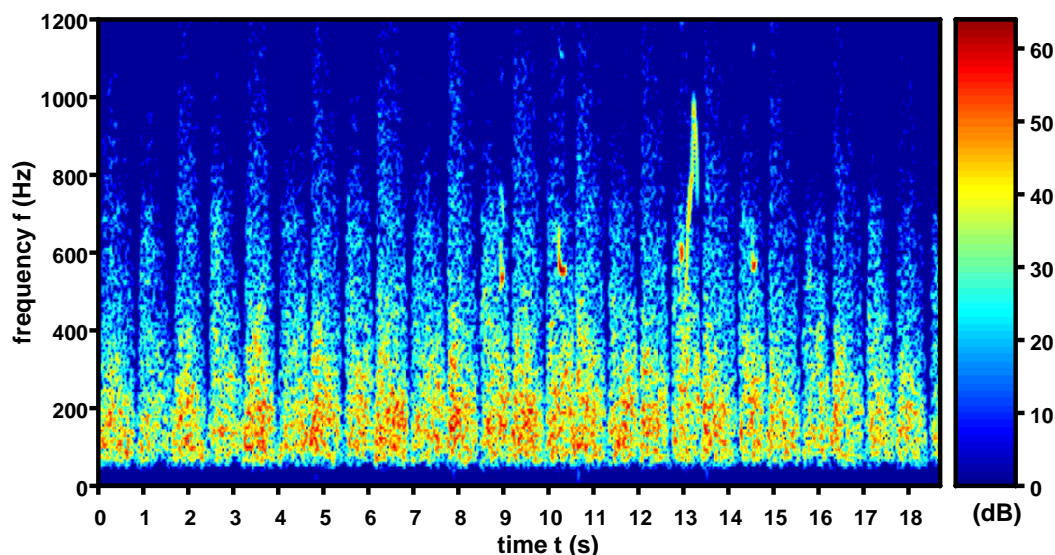


Рис. 2. Фоноспирограмма звуков дыхания 14-летнего больного с персистирующей бронхиальной астмой (т. 2Пр): жесткое дыхание, сухие хрипы

нальные сигналы – сухие хрипы (рис. 2).

У 73.9 % обследуемых детей в “мгновенных спектрах” появлялись широкополосные, высокочастотные (до 1100 Гц), непостоянные импульсные составляющие с интенсивностью (44...49) дБ – влажные хрипы (рис. 3).

В целом, основываясь на данных, полученных нами с помощью фоноспирографического комплекса, можно утверждать, что для большинства детей, больных обструктивным бронхитом и бронхиальной астмой, характерно жесткое учащенное дыхание с наличием сухих хрипов (их гармоники наблюдаются на частотах от 100 до 850 Гц). Влажные хрипы (импульсные кратковременные широкополосные сигналы) у больных астмой детей наблюдаются реже. Дыхательные циклы у них короткие – около 3.1 с, а продолжительность выдоха в приступном периоде, как правило, удлиняется.

### 5.2. Дополнительные звуки дыхания у детей, больных бронхитом без обструктивного синдрома

У больных бронхитом отмечено незначительное расширение частотного диапазона звуков дыхания – на 17 % по сравнению со здоровыми детьми. При этом длительность дыхательного цикла в целом и его отдельных фаз не меняется.

Наряду с основными звуками дыхания, в 100 % случаев анализ фоноспирограмм выявлял наличие артефактов. Так, у 84.6 % пациентов определялись

широкополосные, высокочастотные (до 1100 Гц), непостоянные импульсные составляющие на вдохе и выдохе с интенсивностью (44...49) дБ – влажные хрипы. Узкополосные высокоинтенсивные тональные сигналы – сухие хрипы – зарегистрированы у 53.8 % обследуемых (рис. 4, 5)

### 5.3. Звуки дыхания у детей, больных пневмонией

Были проведены исследования звуков дыхания у детей больных пневмонией разных форм – очаговой бронхопневмонией и сегментарной (полисегментарной) пневмонией. В большинстве случаев при пневмонии фоноспирограммы свидетельствовали об учащенном дыхании и нарушении всех фаз дыхательного цикла (рис. 6).

Отмечены значительные различия в частотных характеристиках у детей с очаговой и сегментарной формами пневмонии. Так, при очаговой бронхопневмонии частотный диапазон звуков дыхания расширяется на 53 %. В то же время, при сегментарной (полисегментарной) пневмонии наблюдается противоположная динамика – сужение частотных полос на вдохе и выдохе над проекцией пораженного сегмента (сегментов) на 46 % от нормы.

Для всех форм пневмоний характерно наличие в “мгновенных спектрах” большого количества импульсных широкополосных, высокочастотных (до 1100 Гц), непостоянных импульсных сигналов с интенсивностью (44...49) дБ – влажных

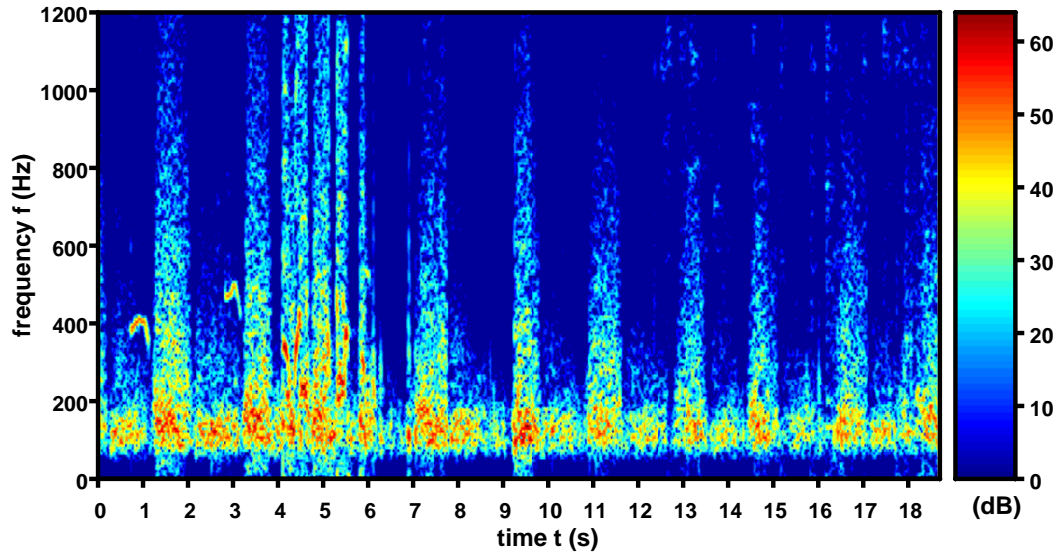


Рис. 3. Фоноспирограмма звуков дыхания 10-летнего больного с персистирующей бронхиальной астмой с наличием сухих и влажных хрипов (т. 2Пр)

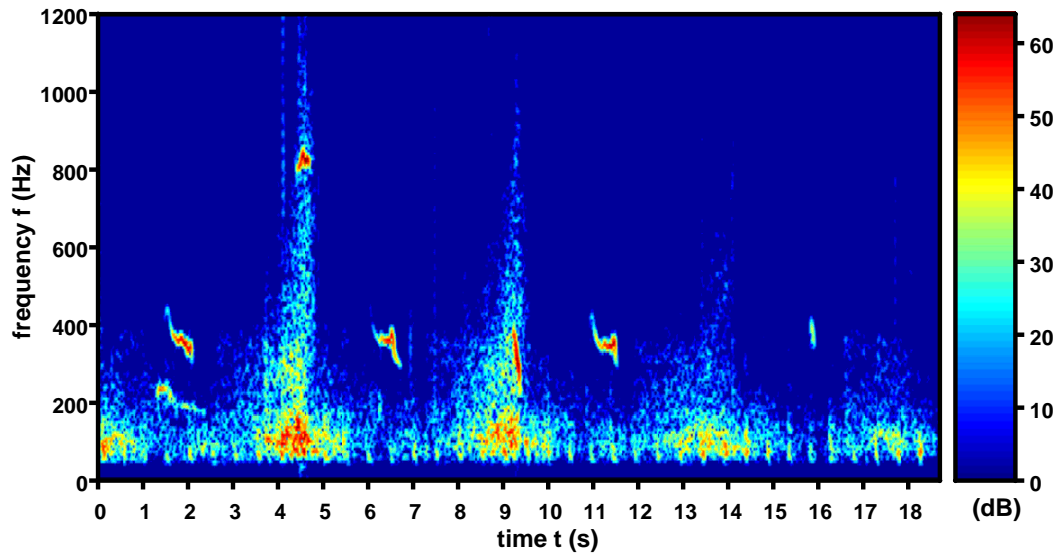


Рис. 4. Фоноспирограмма звуков дыхания 11-летнего больного рецидивирующим бронхитом (т. 7Лв)

хрипов (преимущественно, в фазе вдоха). Подобные изменения регистрировались у 93,7 % пациентов. У 81,25 % больных пневмонией детей отмечалось наличие в конце каждой фазы вдоха пакета стабильно проявляющихся высокоинтенсивных (47...52) дБ высокочастотных (до 1100 Гц) широкополосных импульсов – крепитация.

## 6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЬЮТЕРНОЙ ФОНОСПИРОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ БРОНХОЛЕГОЧНОЙ ПАТОЛОГИИ

Интересные результаты наблюдались при сравнительном анализе данных, полученных с помощью компьютерного фоноспирографического ком-

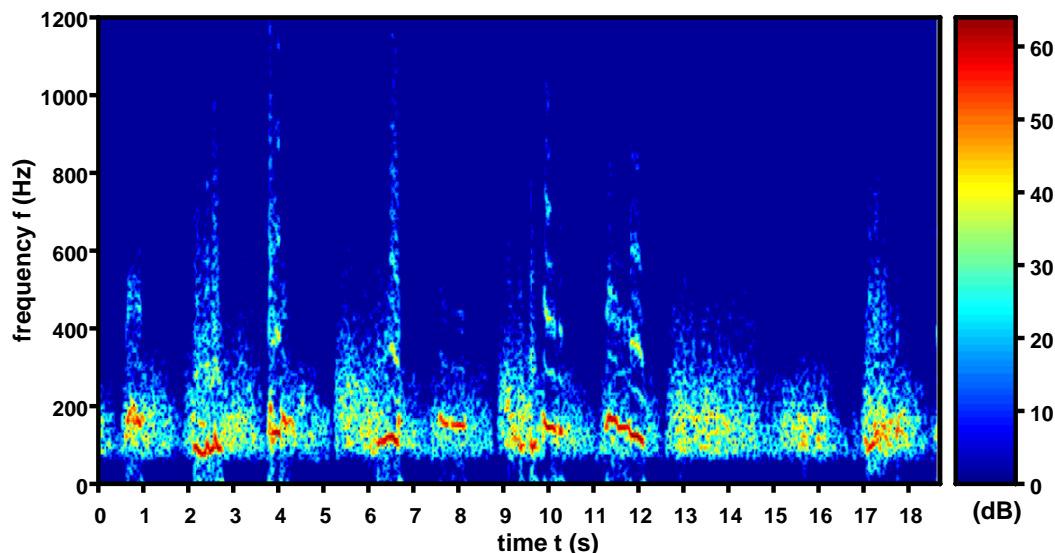


Рис. 5. Фоноспирограмма звуков дыхания 6-летнего больного рецидивирующим обструктивным бронхитом (т. 2Пр)

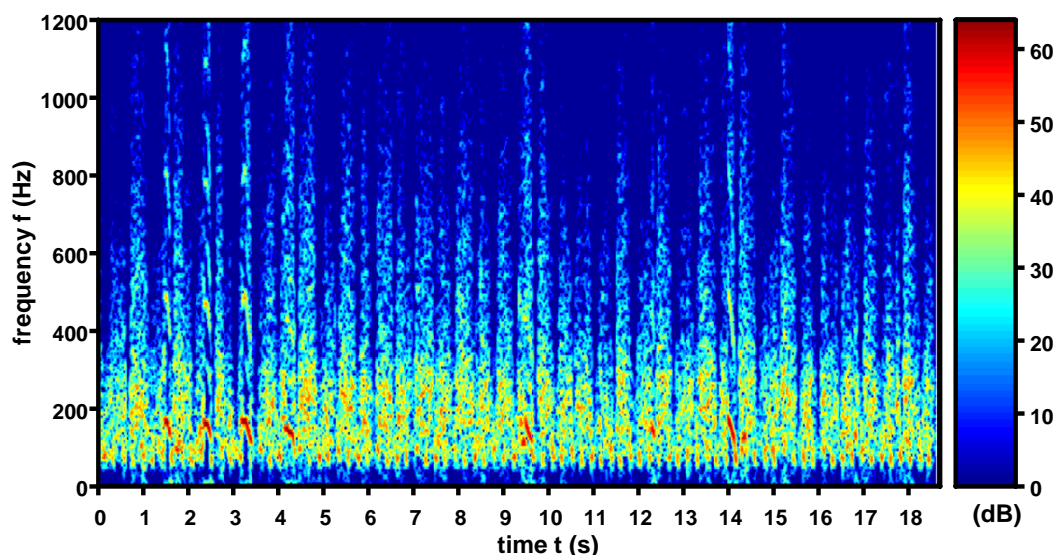


Рис. 6. Фоноспирограмма звуков дыхания 4-летнего больного правосторонней пневмонией (т. 2Лв)

плекса “КоРА-03М1”, и результатов выслушивания врачом больных детей посредством традиционного механического стетофонендоскопа. Жесткое дыхание фиксировалось в 100 % случаев как при традиционной аускультации, так и при компьютерной фоноспирографии с визуализацией звуков дыхания. При выслушивании же дополнительных звуков дыхания обнаружены различия вероятности их выявления с помощью обоих методов.

Дополнительные дыхательные звуки на основе анализа фоноспирограмм выявлены у 89.7 % обследованных детей, врач же фиксировал подобную аускультативную картину лишь в 86.5 % случаев. Сухие и влажные хрипы с помощью фоноспирографического комплекса регистрировались чаще на 16 % и 9 % соответственно. С помощью механического стетофонендоскопа крепитацию удалось выслушать у 68.8 % больных. В то же время,



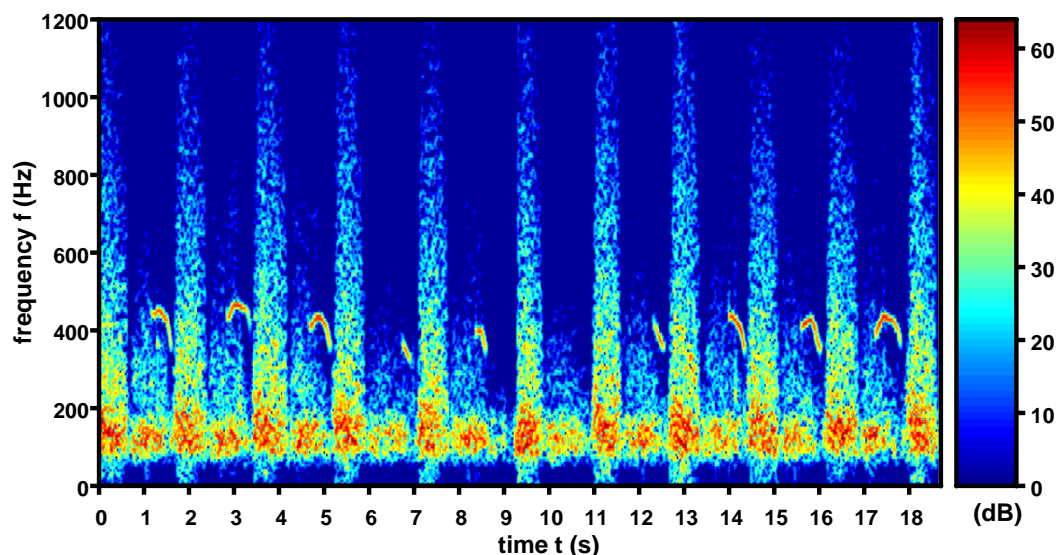


Рис. 7. Фоноспирограмма звуков дыхания 6-летнего больного двухсторонней неспецифической нижнедолевой пневмонией в фазе ремиссии (т.2Пр)

анализ цифрового сигнала показал наличие данного звукового феномена у 81.25 % обследованных пациентов.

Отсюда можно сделать вывод, что применение компьютерной фоноспирографии в медицинской практике позволяет эффективно регистрировать звуки дыхания, выявлять и различать аускультативные признаки у больных детей с различными заболеваниями бронхолегочной системы. Наряду с возможностью архивировать, обрабатывать, визуализировать и повторно прослушивать респираторные сигналы, это позволяет существенно повысить точность и достоверность диагностики.

## 7. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты наших исследований подтвердили, что морфологические изменения в бронхолегочной системе детей, вызванные заболеваниями, приводят к появлению дополнительных артефактов в звуках дыхания, отсутствующих у здоровых детей. На сегодняшний день существует ряд гипотез, объясняющих возникновения дополнительных звуков дыхания [20]. Вкратце перечислим наиболее характерные из них.

Появление влажных хрипов обусловлено скоплением в дыхательных путях жидкости бронхиального секрета (вязкой слизи). Во время вдоха и выдоха воздух под давлением проходит через участки слизи и вспенивает ее. Образующиеся при этом пузырьки лопаются, в результате чего генерируются характерные звуковые импульсы. Аку-

стические характеристики влажных хрипов зависят от калибра бронхов, бронхиол и альвеол, где находится вязкая слизь, а также от ее вязкости. Принятая в медицинской практике классификация влажных хрипов (мелкопузырчатые, среднепузырчатые и крупнопузырчатые) указывает на их частотный диапазон, продолжительность и интенсивность [17].

Сухие хрипы (тональные сигналы) генерируются в местах стеноза бронхов, т. е. в местах сужения сечения вследствие отека, бронхоспазма, наличия пленок вязкой слизи. Это приводит к увеличению скорости потока воздуха, возникновению вихрей и вызванных ими колебаний стенок бронхов. Кроме того, возникновение тональных звуков может быть обусловлено резким падением давления внутри бронха с последующим его сжатием и флатером стенок [19].

Жестким врачи называют дыхание, при котором уровни спектральных составляющих и их диапазоны на вдохе и выдохе близки. Оно вызывается появлением шероховатости стенок бронхов и бронхиол, вызванным воспалительными процессами. Изменение тембра звука происходит при уплотнении и сужении бронхов.

Теперь рассмотрим более подробно каждое из исследованных с помощью фоноспирографии заболеваний бронхолегочной системы у детей.

Бронхиальная астма, вызываемая в первую очередь реактивностью бронхов, приводит к периодически обратимой обструкции, т. е. во время приступа болезни происходит стенозирование возду-

ховодных путей. Как было отмечено выше, стеноз вызывает увеличение скорости воздушного потока в суженных участках бронхов и бронхиол [4], что обуславливает повышение интенсивности звуков дыхания и появление в них гармонических сигналов – сухих хрипов, видимых на фоноспирограммах (см. рис. 2 и 3). Кроме того, при бронхиальной астме в бронхах образуется густая слизь, при обтекании которой воздухом на вдохе и выдохе за счет ее вспенивания и разрушения генерируются кратковременные импульсные сигналы – влажные хрипы. В зависимости от калибра бронхов, появляются шумные низкочастотные, либо свистящие высокочастотные хрипы. Первые из них возникают в крупных бронхах (до 5–6 генераций), а вторые – в бронхах высоких порядков.

При бронхите наблюдается воспаление трахеи и бронхов, приводящее к гиперросту бронхиальных желез, повышению выработки густого, слизистого секрета, уплотнению и отеку поверхностного слоя бронхов с последующим его перерождением и атрофией, что вызывает появление рубцов. Все это снижает гидравлическую гладкость стенок респираторных воздухопроводов. Наше исследование указывает на то, что эти изменения незначительно расширяют диапазон частот и повышают интенсивность звуков дыхания пациента (см. табл. 2). Кроме того, в звуках дыхания могут появляться тональные сигналы (сухие хрипы), уровень которых достаточно высок. Период дыхательного цикла при этом возрастает всего лишь на 7 %, в основном за счет удлинения выдоха и паузы перед выдохом.

В отличие от бронхиальной астмы и бронхита, пневмония обуславливает нарушение проходимости воздуха (точнее, увеличение аэродинамического сопротивления) в мелких воздуховодных путях – бронхах 17-го, 18-го порядка и бронхиолах. Относительное уменьшение проходного сечения в указанных мелких воздуховодных путях при пневмонии значительно больше, чем в более крупных бронхах при бронхите, а суммарная площадь поражаемых при пневмонии воздуховодных путей в десятки раз выше. Поэтому диапазон характерных частот при этой болезни на 53 % шире, а звуки дыхания – на 19 дБ (приблизительно в 10 раз) интенсивнее, чем у здоровых детей.

Различия в восприятии звуков дыхания, обнаруженных при сравнении метода традиционной аускультации с помощью механического стетофонендоскопа и метода компьютерной фоноспирографии, основанного на регистрации звуков дыхания электронными приемниками колебательного ускорения – акселерометрами, можно объяснить сле-

дующими причинами.

1. Более высокой чувствительностью акселерометров по сравнению со стетофонендоскопом, линейностью амплитудно-частотных характеристик первых, в то время как характеристики стетофонендоскопов имеют провалы, снижающие соотношение сигнал/помеха и маскирующие полезный сигнал на соответствующих частотах [18].
2. Многокальностью фоноспирографии, позволяющей синхронно регистрировать звуки дыхания с разных точек, что дает возможность применять при обработке сигналов не только спектральные и спектрально-временные, но и корреляционные методы. Кроме того, при фоноспирографии осуществляется архивирование сигналов, предоставляющее неограниченную возможность воспроизведения их в форме аудио- и видео-образов.
3. Физиологической субъективной ограниченностью слуховых органов врача (остротой слуха, слуховой памятью), ограниченной способностью анализировать звуковую информацию на основе индивидуальной практики аускультации. При этом врач не может осуществить количественную оценку физических характеристик звуков дыхания. Как показали наши исследования, компьютерный комплекс “КоРА-03М1” позволяет успешно определять качественные и количественные характеристики звуков дыхания у детей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С помощью компьютерного фоноспирографического комплекса “КоРА-03М1” выполнены клинические исследования звуков дыхания у детей с различными бронхолегочными заболеваниями – бронхиальной астмой, бронхитом и пневмонией, а также у здоровых детей. Возраст обследованных составлял от 1 до 18 лет.
2. Анализ результатов исследований показал высокую эффективность компьютерной фоноспирографии при выявлении основных и дополнительных звуков дыхания у детей, а также объективизации их характеристик (длительности дыхательного цикла, продолжительности вдоха, выдоха, пауз, частотного диапазона и интенсивность звуков дыхания).
3. Сравнительный анализ заключений о звуках дыхания, полученных с помощью мето-

дов компьютерной фоноспирографии и традиционной аускультации, показал некоторое несовпадение качественных оценок. По нашему мнению, это связано с несовершенством акустических характеристик стетофонендоскопов, а также с физиологическими особенностями слуховых органов врача.

- Одним из достоинств компьютерной фоноспирографии, отличающих ее от аускультации с помощью стетофонендоскопа, является возможность многоканальной синхронной регистрации звуков дыхания с последующей качественной и количественной объективизацией их характеристик, основанной на анализе полученных визуальных образов; многократного прослушивания и архивирования сигналов.
- Необходимо отметить, что выборка больных не была достаточно большой и поэтому полученные результаты не могут претендовать на 100 %-ую достоверность. Тем не менее, они однозначно свидетельствуют об эффективности применения компьютерной фоноспирографии в медицинской практике. Результаты данного исследования могут быть использованы при разработке новых методов диагностики заболеваний бронхолегочной системы у детей.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую признательность доктору физико-математических наук профессору И. В. Вовку за поддержку данной работы и ценные советы, данные в процессе написания статьи; кандидату медицинских наук, старшему научному сотруднику Л. Б. Ярошук и научному сотруднику К. А. Мельник за помощь в проведении медицинских экспериментов.

- Рачинский С. В., Таточенко В. К., Артамонов Р. Г. и др. Болезни органов дыхания у детей: Руководство для врачей.– М.: Медицина, 1988.– 496 с.
- Майданник В. Г., Гринченко В. Т., Рудницький О. Г., Глебова Л. П., Макаренко А. П. Нові підходи в автоматизації аускультативної діагностики легеневих захворювань // Педіатрія, акушерство та гінекологія.– 2000.– № 6.– С. 30–34.
- Гринченко В. Т., Макаренко А. А. Исследование процессов регистрации звуков жизнедеятельности организма человека // Вісн. Донецьк. ун-ту, Сер. А: Природничі науки.– 2007.– Вип. 1.– С. 159–166.
- Макаренко А. А. Акустические характеристики звуков дыхания у больных пневмоконтиозом // Акуст. вісн.– 2008.– 11, № 1.– С. 51–59.
- Hogg J., Williams J., Richardson J. et al. Age as a factor in the distribution of lower airway conductance and in the pathologic anatomy of obstructive lung disease // New Engl. J. Med.– 1970.– 282.– P. 1283–1287.
- Домбровская Ю. Ф. Заболевания органов дыхания у детей. Руководство по педиатрии. Том 3.– М.: Медгиз., 1962.– 312 с.
- Вейбель Э. Р. Морфометрия легких человека.– М.: Медицина, 1970.– 176 с.
- Майданник В. Г. Внебольничная пневмония у детей: какой должна быть тактика педиатра? // Здоровье Украины.– 2009.– № 24(1).– С. 19–20.
- Вовк И. В., Гринченко В. Т., Красный Л. Г., Макаренко А. П. Проблемы регистрации и классификации шумов дыхания человека // Акуст. ж.– 1994.– 40, № 1.– С. 50–56.
- Вовк И. В., Дахнов С. Л., Крижановский В. В., Олійник В. Н. Возможности и перспективы диагностики легочных патологий с помощью компьютерной регистрации и обработки шумов дыхания // Акуст. вісн.– 1998.– 1, № 2.– С. 21–33.
- Гринченко В. Т., Глебова Л. П., Майданник В. Г., Макаренко А. П., Рудницький О. Г. Комп'ютерні методи обробки аускультативних даних // Педіатрія, акушерство та гінекологія.– 1998.– № 5.– С. 29–33.
- Рудницький О. Г., Макаренко А. П., Гринченко В. Т., Майданник В. Г. Спосіб багатопараметричної діагностики легеневих захворювань.– Декларативний патент України на винахід № 41825.– Опубл. 17.09.2001.
- Комплекс фоноспирографический компьютерный "КоРА-03М1".– Технические условия.– ТУ У33.1 05417354 001: 2006.
- Свідомство про державну реєстрацію. "Комплекс фоноспирографічний комп'ютерний КоРА-03 М1".– № 5528.– 2006 р.
- Макаренко А. А., Олійник В. Н. Помехи сенсорно-виброакселерометров, используемых для аускультации дыхательных шумов // Акуст. вісн.– 2006.– 9, № 1.– С. 45–54.
- Пневмонии у детей / Под ред. С. Ю. Каганова, Ю. Е. Вельтищева.– М.: Медицина, 1995.– 304 с.
- Вовк И. В., Гринченко В. Т., Дахнов С. Л., Крижановский В. В., Олійник В. Н. Шумы дыхания человека: объективизация аускультативных признаков // Акуст. вісн.– 1999.– 2, № 3.– С. 11–32.
- Abella M., Formolo J., Penney D. G. Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscopes // J. Acoust. Soc. Amer.– 1992.– 91.– P. 2224–2228.
- Басовский В. Г., Вовк И. В., Вовк О. И. О возможности генерирования тональных звуковых колебаний потоком воздуха в бронхах со стенозом // Акуст. вісн.– 2003.– 6, № 1.– С. 3–21.
- Вовк И. В., Гринченко В. Т. Звук, рожденный потоком (очерк об аэрогидродинамической акустике).– К.: Наук. думка, 2010.– 221 с.