

УДК 004.89:004.4

© 2009 г. **Н.С. Безруков**, канд. техн. наук  
(Амурский государственный университет, Благовещенск)

**В.П. Колосов**, д-р мед. наук,  
**Ю.М. Перельман**, д-р мед. наук,  
**Ю.Ю. Хижняк**

(Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания СО РАМН,  
Благовещенск)

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОНТРОЛИРУЕМОСТИ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЫ В УСЛОВИЯХ МУССОННОГО КЛИМАТА САХАЛИНА**

Предлагается структура системы поддержки принятия решения (СППР) для оценки контролируемости бронхиальной астмы по результатам суточной пикфлоуметрии. На основе статистически значимых параметров строятся подсистемы прогнозирования в пакете «Medical Toolbox».

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решения, контроль бронхиальной астмы, пикфлоуметрия.

### **Введение**

Прогнозирование возникновения того или иного состояния биологической системы – актуальная задача в современной медицине [1]. При ее решении общепризнанным является использование аппарата математической статистики, так как состоятельность исследований и их результатов приобретает особую актуальность в связи с повсеместным распространением и принятием концепции «медицины, основанной на доказательствах» [2], которая предполагает, что к широкому применению в медицинской практике должны рекомендоваться те методы прогнозирования, диагностики и лечения заболеваний, эффективность и безопасность которых подтверждена в исследованиях, выполненных на основе единых методологических принципов. Статистика из-за присущих ей ограничений не всегда способна решить стоящие перед ней задачи, однако на данный момент разработано большое количество вычислительных подходов, не имеющих таких ограничений, одними из которых являются интеллектуальные системы.

К числу направлений применения интеллектуальных систем в медицине относится создание на их основе *систем поддержки принятия решений* (СППР) для прогнозирования или диагностики заболеваний. Известно [3], что такие системы способны существенно ускорить и упростить работу врача, помочь ему избежать собственных ошибок и правильно интерпретировать прогностические

признаки. Поскольку СППР не может нести ответственность за полученное с ее помощью решение (вся ответственность за прогноз ложится на врача), считается, что система выступает только в качестве консультанта, – следовательно, при ее использовании возникает проблема доверия врача к результату работы СППР [4]. Таким образом, важными условиями создания СППР являются простота и понятность методов ее построения для врача. Этому можно добиться, используя по возможности различные статистические критерии, которые подтверждают либо опровергают выдвинутые врачом гипотезы.

В работе предлагается архитектура СППР для оценки контролируемости бронхиальной астмы по результатам суточной пикфлоуметрии. СППР разрабатывается в пакете «Medical Toolbox», который предложен в работе [5] при помощи статистических критериев и аппарата нейро-нечетких сетей. Система состоит из двух подсистем, признаки которых выбираются медиком-экспертом при помощи статистических критериев. Подсистемы работают независимо друг от друга.

### **Контролируемость течения бронхиальной астмы**

*Бронхиальная астма* (БА) – хроническое заболевание дыхательных путей, основным патогенетическим механизмом которого является гиперреактивность бронхов, обусловленная воспалением, а основным клиническим проявлением – приступ удушья вследствие бронхоспазма, гиперсекреции и отека слизистой оболочки бронхов.

В мире БА страдают 5% взрослого населения. У детей в разных странах распространенность варьирует от 0 до 30%. В России БА – самое распространенное аллергическое заболевание, распространенность ее варьирует от 2,6 до 20,3% [6]. В последние десятилетия наблюдается неуклонный рост заболеваемости БА. Изыскания более эффективных способов ее диагностики, лечения и прогнозирования значительно облегчают течение заболевания, позволяют управлять симптомами, снижают вероятность осложнений и фатальных исходов [7]. Особенно остро эта проблема стоит в условиях муссонного климата Дальневосточного региона в связи с тем, что неблагоприятное сочетание высокой влажности и низких температур оказывает существенное влияние на резистентность дыхательной системы. Клиническое течение БА в этих условиях имеет свою специфику, обусловленную влиянием комплекса экстремальных воздействий внешней среды.

Сравнение затрат, связанных с БА, в различных регионах позволяет сделать ряд выводов: затраты, связанные с БА, зависят от уровня контроля над заболеванием у конкретного пациента и эффективности предупреждения обострений; стоимость неотложной терапии выше, чем стоимость планового лечения [7]. Поэтому основной целью лечения БА должно быть достижение контроля – такого состояния, когда симптомы астмы и потребность в препаратах «скорой помощи» минимальны или отсутствуют, обострений нет или они крайне редки, функциональные показатели легких приближены к нормальным, а самое главное – астма в целом не ограничивает нормальную жизнь человека. Уровни контроля БА разработаны в международном программном документе [7].

Методами контроля за течением болезни, наряду с клинической симптома-

тикой, являются легочные функциональные тесты: спирометрия, пикфлоуметрия, плетизмография. Из них пикфлоуметрия – один из самых легкорезализуемых. С ее помощью измеряют *пиковую скорость выдоха* (ПСВ) при выполнении маневра максимального форсированного выдоха, который следует сразу же за максимальным вдохом. Пациент должен выполнять маневр трижды записать максимальную величину в дневник.

Многими национальными руководствами для контроля за состоянием пациентов со среднетяжелой и тяжелой БА рекомендуется постоянный мониторинг ПСВ. При соблюдении правильной техники ПСВ может быть объективным показателем степени обструкции в домашних условиях и в сочетании с письменным планом способен привести к своевременному изменению лечения, включая само-лечение и раннее обращение за медицинской помощью в случае обострения [8]. Достоинствами метода являются его простота и доступность. Индивидуальные показатели пикфлоуметрии – важный критерий, применяемый в схемах ведения больных БА, так как данный параметр может измеряться самим пациентом в различных условиях: на работе, дома и даже на улице. Этот метод может помочь в выявлении триггеров заболевания (аллергены, аэрополлютанты, метеозависимость и т.д.).

Суточная пикфлоуметрия представляет собой измерение ПСВ (в мл) в течение суток с определением реакции бронхов на ингаляцию  $\beta_2$ -агониста.

Для оценки бронхиальной реактивности в различные сезоны года используют следующие формулы:

$$P_U = 100 \times (\text{ПСВ}_{\text{после}} - \text{ПСВ}_{\text{до}}) / \text{ПСВ}_{\text{до}}, \quad (1)$$

$$P_B = 100 \times (\text{ПСВ}_{\text{после}} - \text{ПСВ}_{\text{до}}) / \text{ПСВ}_{\text{до}}, \quad (2)$$

$$C_B = 100 \times (\text{ПСВ}_{\text{в}} - \text{ПСВ}_{\text{у}}) / (0,5 \times (\text{ПСВ}_{\text{в}} + \text{ПСВ}_{\text{у}})), \quad (3)$$

где  $P_U$  – реакция на бронхолитик утром, в %;  $P_B$  – реакция на бронхолитик вечером, в %;  $C_B$  – суточная вариабельность, в %;  $\text{ПСВ}_{\text{у}}$  – утреннее значение ПСВ;  $\text{ПСВ}_{\text{в}}$  – вечернее значение ПСВ.

### Медицинское исследование

Выполненная работа основана на результатах комплексного обследования больных БА, находившихся на диспансерном наблюдении в пульмонологическом кабинете МУЗ (городской диагностический центр г. Южно-Сахалинска). Комплексное обследование проведено 51 больному в возрасте от 17 до 72 лет с длительностью заболевания от 1 года до 20 лет. Наблюдение проводили в течение 395 дней, начиная с 1 сентября 2005 г.

По степени тяжести БА выделены две группы больных: 1 группа – БА средней степени тяжести (БАСТ) – состояла из 42 (82%) человек, средний возраст  $44,7 \pm 2,8$  лет; 2 группа – БА тяжелой степени (БАТТ) – включала 9 (18%) больных, средний возраст  $49,1 \pm 3,9$  лет.

Всем пациентам из группы наблюдения была проведена спирометрия, дополненная бронходилатационной пробой с ингаляцией сальбутамола (для определения степени обратимости бронхиальной обструкции). Затем, после проведенно-

го инструктажа, пациенты осуществляли ежедневные измерения пиковой скорости выдоха (ПСВ) посредством пикфлоуметрии на протяжении 13 месяцев в утренние и вечерние часы – до и спустя 30 минут после приема своего постоянного бронхолитика.

При анализе результатов проходимости и реактивности бронхов у больных БАСТ и БАТТ в условиях юга Сахалина нами выявлены неблагоприятные сезоны года с высокой метеорологической нагрузкой. В эти сезоны установлено увеличение частоты обострений и госпитализаций. Данные наблюдения позволили предположить связь обострений БА с контролируемостью течения заболевания с влиянием метеорологических факторов [9], а также по возможности осуществить оценку отсутствия у пациентов контроля.

В связи с поставленными задачами все пациенты были разбиты на три группы по клинико-функциональным признакам: с контролируемым течением БА – 8 человек (15%), частично контролируемым – 9 человек (17%) и неконтролируемым – 33 человека (68%).

Таким образом, с учетом количества наблюдаемых дней получили базы примеров размерами соответственно 3160, 3555 и 13035, описанных в табл. 1.

Таблица 1

Кол-во признаков	Название файла в базе	Кол-во данных	Описание файла
5	kontrol.mat	3160	Больные с контролируемым течением
	subkont.mat	3555	Больные с частично контролируемым течением
	notkont.mat	13035	Больные с неконтролируемым течением

По результатам исследования была создана база, которую затем ввели в пакет «Medical Toolbox» (рис.1), предложенный в работе [5].

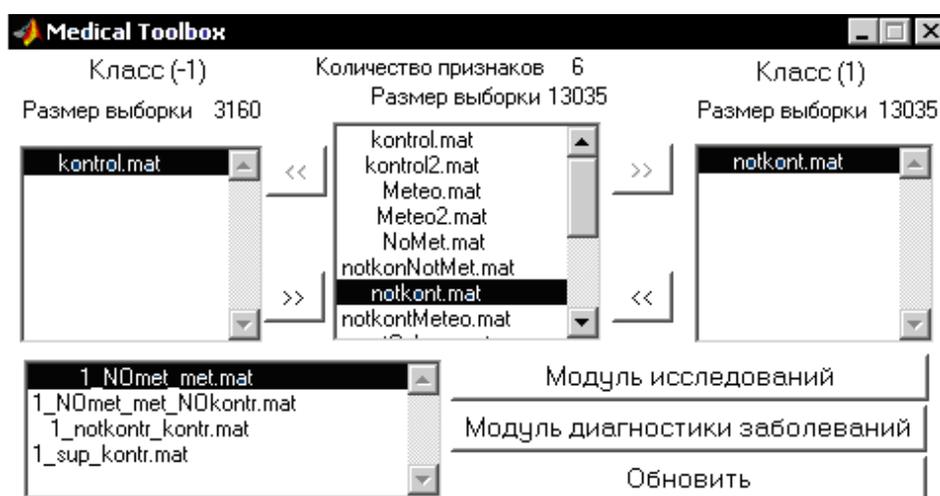


Рис. 1. Экранная форма программы «Medical Toolbox».

Программа работает в двух режимах – основном и обеспечивающем. В основном режиме запускаются ранее созданные подсистемы, при помощи которых решается прикладная задача оценки контролируемости БА. В обеспечивающем

режиме производится статистический анализ имеющихся данных и разрабатывается подсистема, которая затем используется в основном режиме.

### СППР для оценки контролируемости бронхиальной астмы

Задача медицинской диагностики, в частности, состоит в определении состояния биологического объекта на основе знаний предметной области и данных его обследования, к которым относят значения признаков (в моменты их наблюдения), значения анатомо-физиологических особенностей (постоянные во времени) и значения произошедших событий (в моменты, когда они происходили).

В работе [4] на диагностическую систему предложено накладывать следующее ограничение: диагноз пациента может включать не более одного заболевания (пациент болен одним заболеванием (1) или здоров (-1)). При таком подходе, с учетом имеющейся базы примеров из табл. 1, предлагается СППР для оценки контролируемости БА, которая состоит из двух подсистем (рис. 2). Первая подсистема прогнозирует контролируемость – достигнут ли контроль над симптомами БА или нет, а вторая подсистема оценивает степень контролируемости. Естественно, что использовать вторую подсистему необходимо только при условии, что у пациента контролируемое течение БА.

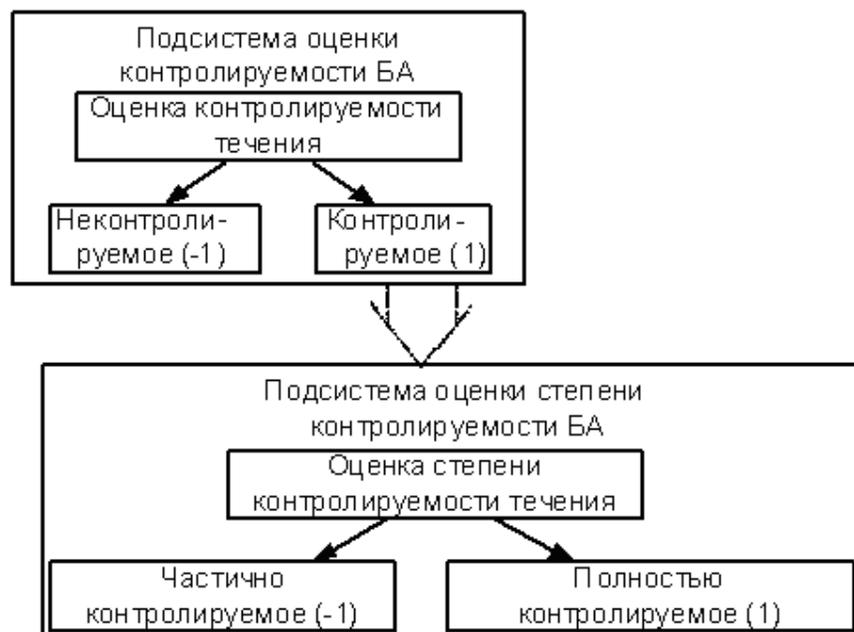


Рис. 2. СППР для оценки контролируемости бронхиальной астмы.

При решении задачи диагностики врач выделяет (на основе своих знаний) основные и вспомогательные признаки. Поскольку выбор признаков врачом субъективен, то в медицинских исследованиях принято использовать аппарат математической статистики для подтверждения выдвигаемых гипотез [2]. Для этих целей в пакете «Medical Toolbox» предлагается воспользоваться тремя статистическими критериями: критерий Стьюдента – параметрический критерий для проверки гипотезы о средних значениях двух случайных наблюдений с нормальным распределением; критерий Вилкоксона – один из самых известных инструментов непараметрической статистики, являющийся альтернативой критерия Стьюдента

для двух независимых наблюдений; критерий Хи-квадрат – непараметрический критерий для проверки гипотезы о принадлежности распределения к заданному типу.

В пакете также имеется алгоритм синтеза системы диагностики [10], использующий математический аппарат адаптивных нейро-нечетких сетей (ANFIS). Данная сеть представляет собой синтез нечеткой логики и нейронных сетей и способна принимать решение, основываясь на выявляемых скрытых закономерностях в многомерных данных. Отличительное ее свойство состоит в том, что она не программируется, а как и нейронная сеть, обучается делать правильные выводы на примерах.

При построении подсистемы оценки контролируемости БА выборка разбивается на два класса: класс (-1) с неконтролируемым течением болезни и класс (1) – с контролируемым течением. Используя статистические критерии, врач подтверждает значимость прогностических признаков: пиковая скорость выдоха утром, пиковая скорость выдоха вечером, суточная вариабельность, реакция на бронхолитик утром и реакция вечером. Затем на основе этих признаков в программе создается подсистема оценки контролируемости БА (notkontr\_notkontr). Используемые признаки и ошибка обучения подсистемы представлены в табл. 2.

Таблица 2

№ под-системы	Файл с системой прогнозирования	Файлы		Размер обучающей выборки	Ошибка обучения	Признаки	$\chi^2$
		Класс (-1)	Класс (1)				
1.	notkontr_notkontr	notkont	kontrol; subkont	19750	14%	Пиковая скорость выдоха утром	p<0,001
						Пиковая скорость выдоха вечером	p<0,001
						Суточная вариабельность	p<0,001
						Реакция утром	p<0,001
						Реакция вечером	p<0,001
2.	sup_kontr	subkont	kontrol	6715	23%	Пиковая скорость выдоха утром	p<0,001
						Пиковая скорость выдоха вечером	p<0,001
						Суточная вариабельность	p<0,001
						Реакция утром	p<0,001
						Реакция вечером	p<0,001

При построении подсистемы оценки степени контролируемости БА выборка разбивается на два класса: класс (-1) – пациенты с частично контролируемым течением БА и класс (1) – пациенты с полностью контролируемым течением болезни. Как и в предыдущем случае, врач, используя статистические критерии, подтверждает значимость результатов суточной пикфлоуметрии. Затем на основе этих признаков в программе создается подсистема оценки степени контролируемости БА (sup\_kontr).

Интерфейс созданных в программе подсистем изображен на рис. 3, где А – подсистема оценки контролируемости БА; Б – подсистема оценки степени контролируемости БА.

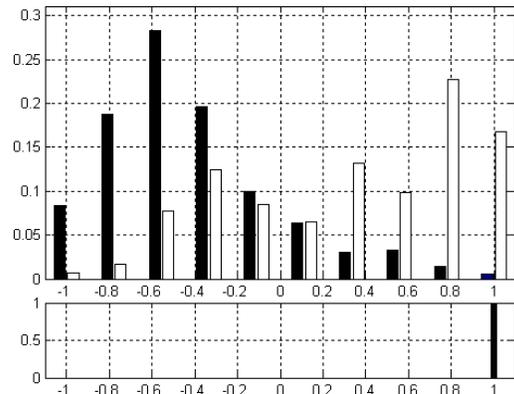
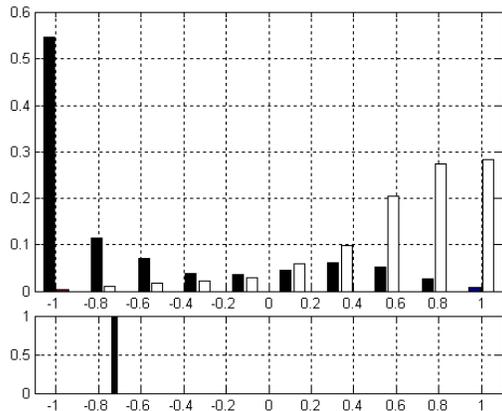
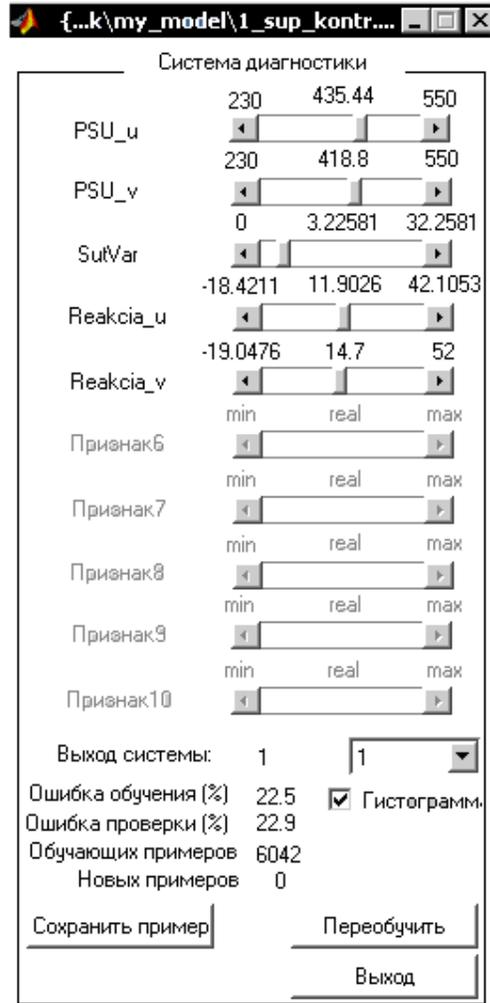
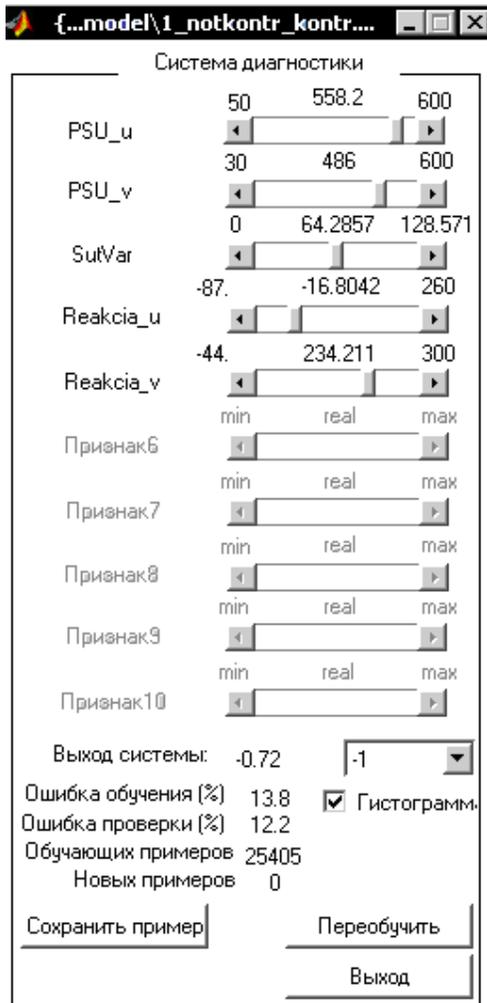


Рис. 3. Интерфейс подсистем.

Из-за того, что четкий выход подсистем сотрет всю нечеткость оценки, принятую в медицине, в работе предлагается использовать расплывчатый (мягкий) выход системы. Так, к примеру, для первой подсистемы (рис. 3а) выход будет в диапазоне от  $-1$  (неконтролируемое течение) до  $1$  (контролируемое течение). Врач при помощи графического отображения может более гибко интерпре-

тировать результат работы системы. В данном случае врачу следует с недоверием относиться к диапазону от -0,4 до 0,4, где образуется наибольшее количество ошибочных оценок. Присвоение данному диапазону оценки «неопределяемое состояние пациента» позволяет уменьшить ошибку подсистемы.

### Заключение

В работе построена система поддержки принятия решения для оценки контролируемости бронхиальной астмы по результатам суточной пикфлоуметрии. Значимость используемых признаков подтверждена статистическим критерием Хи-квадрат. Система состоит из двух блоков: подсистемы оценки контролируемости БА и подсистемы оценки степени контроля. Основным элементом подсистем является каскадная нейро-нечеткая сеть.

Систему рекомендуется использовать для пациентов, проживающих в условиях муссонного климата Сахалина. Ее применение позволит оценивать достижение контроля течения БА и принять меры по адекватному лечению.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Колосов В.П., Перельман Ю.М., Ульянычев Н.В. Пути построения прогнозных моделей в пульмонологии // Информатика и системы управления. – 2005. – №2 (10). – С.64-71.
2. Основы эпидемиологии и статистического анализа в общественном здоровье и управлении здравоохранением: Учебное пособие для ординаторов и аспирантов. – М.: Московская мед. академия им.И.М.Сеченова, 2003. <http://www.publichealth.ru/docs/statistika.pdf>.
3. *Нейроинформатика* / А.Н. Горбань, В.Л. Дунин-Барковский, А.Н. Кирдин и др. – Новосибирск: Наука, Сибирское предприятие РАН, 1998.
4. Москаленко Ф.М. Задача медицинской диагностики и алгоритм ее решения, допускающий распараллеливание // Информатика и системы управления. – 2005. – №2 (10). – С.52-63.
5. Безруков Н.С., Еремин Е.Л., Ермакова Е.В., Колосов В.П., Перельман Ю.М. Автоматизированная система «Medical Toolbox» для диагностики бронхиальной астмы по показателям реоэнцефалографии // Информатика и системы управления. – 2006. – №1 (11). – С.73-80.
6. *Клинические рекомендации. Аллергология* / под ред. Р.М. Хаитова, Н.И. Ильиной. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.
7. *Глобальная стратегия лечения и профилактики бронхиальной астмы (пересмотр 2007)*; под ред. А.Г. Чучалина. – М.: Издательский дом «Атмосфера», 2008.
8. *Клинические рекомендации. Бронхиальная астма* / под ред. А.Г.Чучалина. – М.: Издательский дом «Атмосфера», 2008. – С.194-208.
9. Хижняк Ю.Ю., Колосов В.П., Перельман Ю.М. Сезонная динамика проходимости и реактивности дыхательных путей у больных бронхиальной астмой в условиях муссонного климата // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2008. – №1. – С.82-84.
10. Безруков Н.С., Еремин Е.Л. Построение и моделирование адаптивной нейро-нечеткой системы в задачах медицинской диагностики // Информатика и системы управления. – 2005. – №2 (10). – С. 36-46.

*E-mail:*

Безруков Н.С. – [bezrukou@mail.ru](mailto:bezrukou@mail.ru);

Колосов В.П. – [kolosov@amur.ru](mailto:kolosov@amur.ru);

Перельман Ю.М. – [jperelman@mail.ru](mailto:jperelman@mail.ru).