

В.А. Дюк, С.Б. Рудницкий
**ЛАБОРАТОРИЯ БИОМЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАТИКИ
СПИИРАН**

Дюк В.А., Рудницкий С.Б. Лаборатория биомедицинской информатики СПИИРАН.

Аннотация. Обсуждается смысл терминов «биоинформатика», «медицинская информатика», «биомедицинская информатика» применительно к целям, задачам и методам последней. Обосновывается наиболее полное на наш взгляд определение биомедицинской информатики. Приводятся вехи истории биомедицинской информатики в России и основные научные школы по этому направлению, возглавляемые лидерами отечественной науки. Рассматриваются деятельность лаборатории биомедицинской информатики и особенности решения задач биомедицинской информатики в СПИИРАН.

Ключевые слова: биоинформатика, биомедицинская информатика, телемедицина, интеллектуальный анализ данных, медицинские экспертные системы, методы, алгоритмы и программное обеспечение обработки электрофизиологических сигналов.

Duke V.A., Roudnitsky S.B. The laboratory of biomedical informatics at SPIIRAS.

Abstract. The meaning of terms “bioinformatics”, “medical informatics”, “biomedical informatics” is discussed as applied to the latter’s goals, problems and methods. Justification is given to the definition of biomedical informatics that is in our opinion most complete. The milestones in the history of Russian biomedical informatics are listed as well as the main scientific schools within this line of investigation headed by Russia’s leading scientists. The article provides an examination of the activity of the laboratory of biomedical informatics and the characteristics of solving the problems of biomedical informatics at SPIIRAS.

Keywords: bioinformatics, biomedical informatics, telemedicine, intellectual data analysis, medical expert systems, methods, algorithms and software for processing electrophysiological signals, mathematical biology.

1. Введение. Известен ряд научных областей, в названиях которых термины «био» и «медицина» встречаются в разных сочетаниях с термином «информатика». Это «биоинформатика», «медицинская информатика» и «биомедицинская информатика».

Приведенные термины в настоящее время имеют расхождения в толковании. Так, по определению Европейского Биоинформационного Института «ЕВИ» *биоинформатика* — это применение компьютерных технологий для администрирования и анализа биологических данных. Иная формула биоинформатики определена ВАК (2005 г.) – «научная специальность, занимающаяся изучением организации и функционирования биологических систем разного уровня (от молекулярного до популяционного) на основе методов и средств информатики». Однако здесь следует отметить, что большинство отечественных и зарубежных авторов предпочитают понимать под биоинформатикой исключительно вычислительную молекулярную биологию [15].

Для термина «*медицинская информатика*» также не существует однозначного определения. Об этом свидетельствует, например, показательная фраза о целях медицинской информатики, приведенная на главной странице сайта ассоциации медицинской информатики: «Медицинская информатика призвана помочь врачу в лечении больного, менеджеру медицинского учреждения — в его деятельности по организации труда врачей, организатору здравоохранения — в создании системы медицинской помощи населению и формированию здорового образа жизни, и т.д.». Несмотря на множество разночтений [14], наиболее часто медицинская информатика рассматривается как один из прикладных разделов научной дисциплины «информатика». Исходя из такого подхода, медицинская информатика имеет 2 толкования:

1) научная дисциплина, занимающаяся исследованием процессов получения, передачи, обработки, хранения, распространения, предоставления информации с использованием информационной техники и технологии в медицине и здравоохранении;

2) прикладная медико-техническая наука, являющаяся результатом перекрестного взаимодействия медицины и информатики: медицина предоставляет комплекс «задача–методы», а информатика обеспечивает комплекс «средства–приемы» в едином методическом подходе, основанном на системе «задача–средства–методы–приемы».

Если в отношении терминов «биоинформатика» и «медицинская информатика» недостаточная определенность возникает из-за расхождения толкования во множестве различных источников, то термин «*биомедицинская информатика*» в настоящее время нуждается в таком определении из-за практического отсутствия каких-либо толкований. Здесь возникает некоторая сложность, связанная с изолированным толкованием понятия «биомедицина». В основе биомедицины лежит использование для решения медицинских проблем идей и технологий, разработанных в биохимии, иммунологии, клеточной биологии и других биологических науках, особенно генетике, геномике, протеомике и метаболомике.

Руководитель департамента Биомедицинской Информатики Колумбийского университета Edward Shortliffe определяет биомедицинскую информатику (Biomedical informatics) как раздел науки, изучающий хранение, обработку, распространение и оптимальное использование биомедицинской информации, данных и знаний для решения проблем и принятия решений (дословный перевод).

Ещё более широкое толкование биомедицинской информатики приведено в разделе «Термины и определения (стандарты электронно-

го правительства)» Постановления Правительства РФ от 10 сентября 2009 г. № 721 «О внесении изменений в федеральную целевую программу "Электронная Россия (2002–2010 годы)"» — область применения ИКТ в биологической и биомедицинской науке, фармакологии, а также в здравоохранении.

На наш взгляд, биомедицинская информатика является областью, обобщающей биоинформатику и медицинскую информатику.

Под биомедицинской информатикой в настоящее время мы понимаем отрасль науки, изучающую структуру и свойства информации в «живых системах», а также вопросы, связанные с ее сбором, хранением, переработкой, преобразованием и использованием в различных целях на разных уровнях организации живых систем.

Как и любую технологию, технологии биомедицинской информатики нельзя рассматривать в отрыве от конечной цели. Фундаментальный интерес в биомедицинской информатике, по мнению ряда авторитетных учёных [1], представляют две цели:

- 1) Создание новых биологически активных веществ.
- 2) Разработка новых способов медицинской диагностики.

Эти цели полностью соответствуют одному из пяти приоритетных направлений — медицинские технологии и, прежде всего, диагностическое оборудование и лекарственные средства, — сформулированных президентом РФ в 2009 году.

2. Вехи истории биомедицинской информатики в России. Историю биомедицинской информатики в России, по-видимому, следует отсчитывать с 1957 г., когда академик А. И. Берг основал секцию при АН СССР «Применение радиоэлектроники в биологии и медицине». Затем А.И. Берг в 1959 году возглавил Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», в состав которого вошла секция «медицинская кибернетика».

В дальнейшем развитии биомедицинской информатики принимали участие специалисты в области наук о живом (врачи, биологи) и представители точных наук (математики, физики, инженеры). Ход истории по-разному трактуется врачами и представителями точных наук.

Врачи [4] больше делают акцент на организационных и управленческих проблемах, на «информатизации здравоохранения», когда принимаются во внимание главным образом количественные показатели (оснащенность компьютерной техникой, характеристики обеспеченности связью с интернет, показатели компьютерной грамотности медицинского персонала и т.п.). Здесь отмечаются следующие вехи становления и развития биомедицинской информатики в СССР и РФ.

1960 г. — в институте хирургии им. Вишневецкого создана лаборатория кибернетики.

1962 г. — в институте кибернетики на территории Украинского института туберкулеза создана «Лаборатория управления в живом», организован семинар «Некоторые проблемы кибернетики и применение электроники в биологии и медицине» (Н.М. Амосов).

1966 г. — создан отдел вычислительной техники и средств автоматизации управления МЗ СССР, управление медицинской статистики и вычислительной техники.

1967 г. — создана межведомственная проблемная комиссия «Медицинская кибернетика» под руководством Н.М. Амосова; создан отдел вычислительной техники во ВНИИ медицинского приборостроения. Создан ГВЦ МЗ СССР при ВНИИСГи ОЗ им. Н.А. Семашко.

1968 г. — в МОЛГМИ им. Н.И. Пирогова создана лаборатория медицинской кибернетики РОНЦ РАМН, затем преобразованная в ВЦ АМН СССР.

1973 г. — в структуре АМН СССР создана проблемная комиссия по применению средств вычислительной техники и автоматизированных систем управления в здравоохранении.

1974 г. — создана кафедра медицинской и биологической кибернетики.

1975 г. — создан РИВЦ МЗ РСФСР. Создан Совет по медицинской кибернетике и вычислительной технике при Ученом совете Минздрава РСФСР. В МЗ СССР создан отдел вычислительной техники в управлении статистики.

1976 г. — созданы Научный совет по медицинской кибернетике и вычислительной технике с двумя проблемными комиссиями — АСУ в здравоохранении и медицинская кибернетика. Создана кафедра автоматизации управления медицинской службой ВМА им. С.М. Кирова.

1984 г. — создан сектор управления в инженерно-физиологических системах по проблемам биокибернетики в лаборатории управления по неполным данным ИПУ РАН.

1988 г. — создана межведомственная проблемная лаборатория методов информатики в управлении здоровьем населения РАН и РАМН.

1989 г. — создан ГВЦ МЗ СССР; в Санкт-Петербургской медицинской академии последипломного образования создана кафедра информатики и управления в медицинских системах.

1990 г. — РИВЦ МЗ РСФСР преобразован в НПО «Медсоцэкономинформ» МЗ РФ.

1993 г. — Совет по медицинской кибернетике и вычислительной технике преобразован в Секцию информатизации здравоохранения Ученого совета МЗ РФ.

1994 г. — организована кафедра медицинской информатики РАМН; создано отделение медицинской информатики Международной академии информатизации.

1999 г. — на базе НПО «Медсоцэкономинформ» и ГВЦ МЗ РФ создан ЦНИИОИЗ.

2004 г. — издательским домом «Менеджер здравоохранения» учрежден научно-практический журнал «Врач и информационные технологии».

2005 г. — состоялся Учредительный съезд Ассоциации медицинской информатики и образовано Некоммерческое партнерство «Ассоциация медицинской информатики». Миссией созданной ассоциации является продвижение идеи единой информационной среды здравоохранения во всех ее аспектах.

Представители точных наук пока не очертили столь определенно, как врачи, историю биомедицинской информатики. По-видимому, эта история более многогранна, и акценты в ней смещены в сторону фундаментальных достижений, касающихся новых средств исследования и описания живых систем.

В формировании истории приняло и принимает участие огромное количество математиков, физиков, химиков, инженеров. Фактически в каждом научном или учебном заведении есть структурные подразделения, группы или отдельные специалисты, увлеченные познанием различных аспектов феномена «живого» с помощью формальных инструментов точных наук. Вместе с тем, здесь нельзя не выделить несколько научных школ, которые возглавляли лидеры отечественной науки.

1) Школа А.А. Ляпунова.

Время расцвета школы А.А. Ляпунова пришлось на 50-е и 60-е годы. На семинаре этой школы в МГУ и в Новосибирске в ряду чисто математических вопросов активно обсуждались вопросы биологии.

А.А. Ляпунов вместе со своими учениками, биологами разных специальностей, подготовил значительное число трудов по многим вопросам, касающимся реальных систем живой природы. Во всех этих исследованиях, доведенных до различной степени законченности и детальности, А.А. Ляпунов обращал основное внимание на постановку задачи, пути и способы ее решения, системные выявления иерархии элементов и связей между ними [27].

2) Школа М. Л. Цетлина–М.М. Бонгарда.

В этой школе объединялись математики, программисты, физиологи, инженеры и физики. Основной круг интересов участников школы концентрировался вокруг проблем моделирования в биологии, физиологии, медицине и этологии. Как отмечают, достижения школы в области индуктивного формирования понятий, моделей зрения, моделей роста тканей и коллективного поведения во многом недостижимы для зарубежной науки и по сей день [20].

3) Школа И.М. Гельфанда.

Широта научных интересов И.М. Гельфанда сочеталась с глубиной и стремлением взаимодействовать с ведущими исследователями в различных областях. Междисциплинарность подхода к научным проблемам — его отличительная черта, которая ярко проявилась при работе с биофизиками, физиологами, клеточными биологами и врачами. И.М. Гельфанд сам принимал участие в экспериментах по физиологии нервной системы, клеточной биологии и в анализе путей решения трудных диагностических и прогностических задач опытными медиками. И.М. Гельфандом и его сотрудниками был заложен структурный подход к изучению живых систем. Работа с врачами привела к формулировке гипотезы о структурной организации данных, которая позволяет человеку легко решать задачи с большим числом параметров. Все это сложилось в целостный подход, одной из важных компонент которого является "метод диагностических игр". Широкую известность приобрела уникальная в своем роде книга «Очерки о совместной работе математиков и врачей», написанная И.М. Гельфандом совместно с Б.И. Розенфельдом и М.А. Шифриным [5].

С начала 90-х годов прошлого века и по настоящие дни в связи с кардинальным совершенствованием компьютерных и коммуникационных технологий происходит стремительный рост числа научных и образовательных учреждений, в тематику которых включены те или иные вопросы биомедицинской информатики. Это институт математических проблем биологии РАН, институт программных систем им. А.К. Айламазяна РАН (исследовательский центр медицинской информатики), научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского (отдел математических методов в биологии), институт цитологии и генетики СО РАН (межлабораторный семинар по молекулярной генетике, клеточной биологии и биоинформатике), Новосибирский государственный университет (кафедра информационной биологии), институт проблем передачи информации РАН (учебно-научный центр "Биоинформатика"), Московский государ-

ственный университет им. М.В. Ломоносова (факультет биоинженерии и биоинформатики, биологический факультет), Вычислительный центр им. А.А. Дородницына, Санкт-Петербургский академический университет (лаборатория нанобиотехнологий), Санкт-Петербургский государственный университет (кафедра управления медико-биологическими системами факультета прикладной математики и процессов управления) и ряд других авторитетных учреждений и научных коллективов.

3. Деятельность лаборатории биомедицинской информатики СПИИРАН. В августе 1994 г. по инициативе директора СПИИРАН члена-корреспондента РАН Р.М. Юсупова направление биомедицинской информатики стало развиваться в Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН. Сначала в составе лаборатории прикладной информатики была создана группа биомедицинской информатики под руководством д.т.н., профессора Р.И. Полонникова. Затем, когда тематика исследований группы значительно расширилась и углубилась, в 2005 году на её основе была организована лаборатория биомедицинской информатики (ЛБМИ), которую возглавил д.т.н. С.Б. Рудницкий.

Деятельность ЛБМИ охватила значительный круг фундаментальных и прикладных вопросов биомедицинской информатики. Сюда относятся теоретические основы информатики, системология наук о живом, аппаратно-программные комплексы для психофизиологических исследований, телемедицина, моделирование биологических систем (математическая биология), методы, алгоритмы и программное обеспечение обработки электрофизиологических сигналов, компьютерная психодиагностика, интерфейс мозг-компьютер, мониторинг психофизиологического состояния человека, интеллектуальный анализ данных медико-биологических исследований, медицинские экспертные системы и биоинформатика

3.1. Теоретические основы информатики. В трудах основателя направления Р.И. Полонникова с позиций системного подхода и целостного видения окружающего нас мира сделана попытка раскрыть содержание феноменов информации и информационного взаимодействия. Для этого потребовалось углубленное проникновение в суть таких понятий как сознание, смыслы, понимание, языки. Основные результаты изложены в монографиях [16-19].

3.2. Системология наук о живом. В работах д.т.н. в.н.с. В.А. Дюка произведены классификация и обобщение специфики медико-биологических исследований с точки зрения целевых, дескриптив-

ных и структурных особенностей данных. Выделены основные характеристики предметной области медико-биологических исследований: нечеткость целевых показателей и критериев; неопределенность, неточность, разнотипность и неизвестная размерность описаний; полиморфность эквивиальных состояний исследуемых систем; наличие русел и джokers разного, заранее не известного формата с неизвестной локализацией. Эти характеристики дали основание определить в целом медицину и биологию как предметные области с нечеткой системологией. Обосновано, что поиск, описание и структурирование закономерностей в этих областях требует особых математических и алгоритмических подходов.

Впервые в России обобщены и систематизированы сведения о применении информационных технологий в медико-биологических исследованиях в монографии [12].

3.3. Аппаратно-программные комплексы для психофизиологических исследований. Аппаратно-программные комплексы представляют собой интеграцию измерительного прибора с вычислительным устройством, при которой заложенной в компьютер программой обеспечивается выполнение четырех функций:

- 1) управление работой измерительного прибора и сопутствующих ему устройств;
- 2) съем и запоминание показаний измерительного прибора или регистрация данных;
- 3) преобразование и вычислительный анализ зарегистрированных данных;
- 4) представление и вывод полученных результатов в числовой, графической или текстовой форме.

Работы под руководством проф. Р. И. Полонникова по исследованию электрической активности головного мозга человека, регистрируемой в виде электроэнцефалограммы (ЭЭГ), потребовали создания специализированного информационно-измерительного комплекса. Впоследствии комплекс был доработан и расширен до полиграфического. С его помощью в ходе срезовых и лонгитюдных клинико-физиологических исследований были выявлены и изучены особенности ряда мультифрактальных характеристик ЭЭГ человека в норме и при церебральных дефектах, а также закономерные изменения этих характеристик в онтогенезе (материалы исследований легли в основу изданной в 2004 году монографии [3]). В процессе разработки комплекса был предложен новый подход к редактированию ЭЭГ-сигнала, основанный на временной разметке сигнала и являющийся более гиб-

ким и экономным, чем традиционный; метод реализован в программе «EEG Editor».

В развитие этого направления к.м.н. Е.Л. Вассерманом было предложено разработать программу для организации дихотического прослушивания (ДП, синхронного предъявления пар одинаковых или различающихся звуковых стимулов в оба уха испытуемого) без специальной акустической аппаратуры. Программа, получившая название «Дихотик» и сейчас уже внедрённая в практику учреждений здравоохранения, позволяет проводить аудиометрию, неинвазивно определять преимущественную латерализацию речевых функций в головном мозге испытуемого в тех случаях, когда применение других способов невозможно или нецелесообразно, и определять статистическую значимость результатов прослушивания с помощью модифицированного доверительного интервала Вальда. В настоящее время разрабатываются методические и технические основы ЭЭГ-ДП — нового подхода к диагностике функциональных состояний и мозговой организации психических функций у человека. Используя программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий дихотическое предъявление вербальных звуковых стимулов, синхронную регистрацию ЭЭГ и ответов испытуемого с последующим автоматизированным распознаванием ЭЭГ-паттернов, можно объективизировать результаты обследования, что актуально для многих клинических и исследовательских задач, особенно в детской психоневрологии.

Для решения задачи комплексирования физиологических измерений с использованием закрытых программно-аппаратных комплексов разных производителей под руководством д.т.н. С.Б. Рудницкого разработано устройство — полиграф-синхронизатор. Обоснованы основные требования к такому синхронизатору, изготовлены, настроены и апробированы 3 экземпляра устройства «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001», разработанного коллективом лаборатории и представляющего собой компьютерный полиграф, позволяющий производить синхронную регистрацию электрокардио- и электроэнцефалограмм, кожногальванической реакции, пульсо- и пневмограмм, сатурации крови кислородом, микродвижений мышц лица и рук и спектральный анализ голоса, набор штатно регистрируемых сигналов которого может быть расширен путём использования приборов и программно-аппаратных комплексов других производителей с обеспечением необходимой точности синхронизации всех записей [23, 25, 28].

По результатам лабораторных испытаний устройства «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001» было разработано системное программное

обеспечение и полнофункциональное пользовательское, в котором все органы управления ходом измерительного эксперимента сосредоточены в единой программной оболочке. Программно реализованы подходы, позволяющие конечному пользователю самостоятельно задавать план проведения эксперимента и возможные его сценарии.

Работы по этому проекту неоднократно были поддержаны грантами Президиума и ОНИТ РАН (2006–2013 г.г.), а результаты по нему отнесены к важнейшим результатам РАН в 2010г. Устройство было представлено на международных выставках в 2011 г. (Москва), 2012 г. (Тегеран, ИРИ), 2013 г. (Санкт-Петербург, Москва, Архимед-2013, где получило диплом I степени с вручением золотой медали).

Под руководством д.т.н. в.н.с. Ю.И. Сенкевича выполнен ряд работ по заказам НИИ прикладных проблем, посвящённых разработке аппаратно-программных комплексов для психофизиологических исследований. Создан экспериментальный стенд с открытой архитектурой на базе персональных компьютеров с распределёнными функциями сбора и комплексной обработки биологических сигналов и клинических данных, поступающих от подключаемых внешних измерительных приборов и датчиков, установленных на теле человека. Разработаны методики и специальное программное обеспечение регистрации и анализа электрофизиологических сигналов (электроэнцефалограмма, электрокардиограмма, полиграфические каналы).

3.4. Телемедицина. В 1998 году под редакцией чл.-кор. РАН Р.М. Юсупова и профессора Р.И. Полонникова выпущен первый в России обширный сборник трудов по телемедицине [26].

В 2000 году д.т.н. В.А. Дюком в соавторстве с к.т.н. А.К. Блажисом издана первая в России монография «Телемедицина» [2].

В 2008 году Ю.И. Сенкевич защитил докторскую диссертацию по теме "Теоретические основы разработки автоматизированных инструментальных средств для телемедицинских систем полярных зон". Эта диссертация явилась результатом многолетних трудов Ю.И. Сенкевича по разработке реально действующей телемедицинской системы в российской антарктической экспедиции [6].

3.5. Моделирование биологических систем.

1) Кодирование сенсорной информации, исследование биофизических основ и моделирование информационных процессов нейронной памяти.

Старший научный сотрудник лаборатории к.т.н. А.Н. Радченко получил результаты, позволяющие понять биофизические механизмы

памяти и изучить ее информационные особенности. Установлено, что они связаны не с двумя популяциями нейронной памяти — кратковременной и долговременной, а с тремя (третья — популяция записи). Изучены динамические процессы этих популяций. С ними связаны бодрствование и сон, а также различные амнезии. Установлено, что синдром Корсакова сопровождается повышением мембранных потенциалов, в результате чего клетка не воспринимает новой информации. Такое же повышение мембранных потенциалов характерно для раковых клеток, но в этом случае клетка теряет способность передавать информацию изнутри наружу с помощью таких же, но обращенных молекулярных триггеров. Предложен новый способ лечения синдрома Корсакова, основанный на увеличении размаха колебаний ритмической активности во время сна. Результаты опубликованы в двух монографиях [21, 22].

2) Моделирование процессов транспорта кислорода в организме человека.

Д.т.н. А.В. Копыльцов получил результаты, которые позволяют понять основные закономерности распространения кислорода в организме человека. Построена система математических моделей, описывающих транспорт кислорода в организме в нормальных условиях и экстремальных ситуациях.

Модели были использованы для исследования закономерностей движения эритроцитов (основных переносчиков кислорода) по сосудам, транспорта кислорода из эритроцитов в окружающие ткани и продуктов метаболизма из тканей в сосудистое русло, регуляции кровотока и транспорта кислорода вазоактивными продуктами метаболизма, а также для оценки состояния системы транспорта кислорода в организме. Предложена 3-мерная модель эритроцита, учитывающая объем, площадь поверхности, упругие характеристики эритроцита, вязкость плазмы и его содержимого, и позволяющая описать как форму, так и положение эритроцита в капилляре, а также его перемещение по капилляру и движение мембраны эритроцита. Предложена и исследована модель перемещения совокупности эритроцитов по капиллярам, включающая модель движения одиночного эритроцита. На основе модели проанализированы различные показатели кровотока в капиллярных сетях. Построена математическая модель регуляции кровотока и транспорта кислорода вазоактивными продуктами метаболизма. С помощью построенной модели исследованы стационарные режимы кровотока и транспорта кислорода. Найдены аппроксимационные формулы для оценки

времени перехода системы транспорта кислорода из одного стационарного состояния в другое в зависимости от скорости потребления кислорода тканями, разности давлений на концах сосудистого дерева и скорости кровотока. Предложен алгоритм экспертной оценки качества и коррекции функционирования системы транспорта кислорода человека при недостатке информации. Эти результаты опубликованы в монографии [13].

Группа клинической биофизики под руководством к.ф.-м.н. В.Ф. Павловского решала задачи *математического моделирования нейрофизиологических процессов при воздействии на биологические объекты модулированными СВЧ полями*. Кроме того, сфера научных интересов группы включала *математическое моделирование развития вирусных инфекций* и создание биофизических комплексов клинического применения.

Разработана математическая модель информационно-волновых воздействий на основе микроволновых низкоэнергетических излучений.

Разработан аппаратно-программный комплекс для проведения биофизических и экспериментальных исследований по оценке влияния модулированного СВЧ-поля на динамику нейрохимических процессов, лежащих в основе аддиктивного поведения.

Проведены экспериментальные исследования по оценке влияния модулированных СВЧ-полей на динамику Ca²⁺-зависимых процессов и опиоидные системы мозга. Показана принципиальная возможность целенаправленного изменения их уровня как основного лечебного фактора при наркотической зависимости.

3.6. Методы, алгоритмы и программное обеспечение обработки электрофизиологических сигналов.

1) Метод анализа фрактальной динамики электроэнцефалограмм.

Суть метода, предложенного профессором Р.И. Полонниковым, состоит в том, что ЭЭГ представляется хаотическим процессом, а не регулярным, колебательным. Аттрактор хаотического процесса есть мультифрактал и поэтому вводятся в рассмотрение такие измеримые характеристики фрактала, как фрактальная размерность, накопленное количество информации по Хартли, результат сингулярного разложения фрактальных матриц, степень упорядоченности спектра мощности сегмента ЭЭГ и др. (всего около 3-х десятков характеристик).

Метод анализа фрактальной динамики (АФД) реализует пространственно-временную обработку множества связанных

сегментов ЭЭГ общей протяжённостью всего лишь 30 секунд, что делает его пригодным и для целей телемедицины. Разработаны алгоритм метода и программа на языке Matlab, с помощью которых обработаны десятки реальных (клинических) ЭЭГ в НИИ экспериментальной медицины и Научно-исследовательском психоневрологическом институте им. В.М. Бехтерева Минздрава РФ с положительными результатами. По материалам исследования издана монография [3].

2) Метод комплексной обработки синхронно регистрируемой биометрической информации

Предложенные д.т.н. С.Б. Рудницким метод комплексной обработки биометрической информации и способы комплексирования биометрических датчиков основаны на схемах компенсации и фильтрации.

В основе комплексирования лежит идея полезного использования некоторой аппаратной избыточности. Избыточными должны быть датчики одноименных параметров, например, частоты сердечных сокращений (пульса) или дыхания, при одном весьма важном требовании: разнородным физическим принципам, лежащим в основе функционирования этих датчиков. Последнее обеспечивает разный характер спектров погрешностей величин или параметров, измеряемых этими датчиками. Одноименных датчиков должно быть, по крайней мере, два, что позволяет реализовать при комплексировании принцип инвариантности и обеспечить невозмущаемость оценок измеряемых величин или параметров.

Основная цель любого способа комплексирования состоит в достижении наивысших, при данном составе датчиков и вычислительных средств, показателей по точности и надёжности определения параметров функционального состояния. Как правило, комплексированная система приобретает качества, которые принципиально не могут быть достигнуты каждым датчиком в отдельности, позволяет автоматизировать процесс исключения артефактов, повысить надёжность, целостность, и достоверность получаемых данных, и, в конечном счёте, гарантированность выполнения целевой функции при наличии ограничений по времени сеанса.

Работа по этому направлению поддерживалась грантами Президиума (2008–2011 г.г.) и ОНИТ РАН (2006–2013 г.г.), а результаты отнесены к важнейшим достижениям РАН в 2008г.

3) Структурно-лингвистический метод

Д.т.н. Ю.И. Сенкевич разработал структурно-лингвистический метод, доказавший свою эффективность в задачах анализа электрофизиологических сигналов (в частности, ЭЭГ). Метод осуществляет фрагментацию сигнала на отрезки с определённым количеством максимумов и минимумов. Далее для каждого фрагмента измеряются значения максимумов и минимумов сигнала и интервалов между ними. В результате измерений получается матрица ранговых отношений. На следующем шаге осуществляется поиск фрагментов, имеющих такую же матрицу отношений. Фрагменты, для которых одинаковые матрицы отношений часто встречаются, принимаются как значащие, и им присписывается определённое обозначение — символ. Вся найденная в сигнале совокупность символов составляет так называемый алфавит. В целом данный метод описывает локальные структурные особенности сигнала и определённым образом сохраняет информацию, переносимую первичным сигналом.

Сочетание структурно-лингвистического подхода с преобразованием символического ряда в матрицу с помощью однопараметрической сдвиговой процедуры «Гусеница» позволяет в дальнейшем применять практически весь арсенал многомерного анализа данных, в том числе современные технологии интеллектуального анализа данных.

3.7. Компьютерная психодиагностика. Д.т.н. В.А Дюком в 1994 году опубликована первая в России монография по теме «Компьютерная психодиагностика» [7]. В этой книге дается целостное представление о компьютерной психодиагностике, и подробно рассматриваются составляющие этой предметной области: автоматизация психодиагностических экспериментов, постановка новых видов экспериментов и применение современных компьютерных информационных технологий в психодиагностике. Приводится полный обзор методов распознавания образов, способствующих принятию эффективных психодиагностических решений. Излагаются новые методы анализа психодиагностической информации. Большое внимание отведено проблемам построения интеллектуальных психодиагностических систем. Книга стала настольной для специалистов в области психодиагностики и используется в учебных курсах многих вузов.

3.8. Интерфейс мозг-компьютер. В лаборатории выполнен ряд эмпирико-статистических исследований связанных с событиями потенциалов ЭЭГ, в которых показано, что методы интеллектуального анализа данных в сочетании со специальными видами препроцессинга позволяют выявлять сложные системные взаимосвязи в многомерных

психофизиологических данных без использования традиционной процедуры усреднения реализаций ЭЭГ. Обосновано, что использование системных взаимосвязей между различными показателями во временной и частотной областях дает возможность существенно повысить точность и надежность правил выявления эффектов визуального (в том числе подпорогового) воздействия по данным электрофизиологического эксперимента. Кроме того, методы интеллектуального анализа данных в сочетании с новейшими средствами получения электрофизиологической информации позволяют по-новому раскрыть ценность различных экспериментальных показателей, а также ускорить и удешевить процесс создания компьютерных систем в области построения интерфейсов мозг-компьютер.

3.9. Мониторинг психофизиологического состояния человека.

В современной медицине используется широкий спектр диагностических технологий, предоставляющих врачам-клиницистам огромные объемы разнотипных данных о функциональном состоянии (ФС) человека. Эти данные отличаются многомерностью в сочетании с малыми объемами выборок, «выбросами» значений, следами неустранимых помех. Перечисленное серьезно затрудняет диагностику и прогнозирование ФС пациента по непосредственным результатам его обследования, значительная часть ценной информации оказывается неиспользованной, что делает всю диагностическую работу малоэффективной. Также сложной и до конца не решенной задачей до настоящего времени остается автоматизация распознавания ФС человека. Существующие системы могут решать только небольшое количество задач и почти всегда требуют участия специалиста в соответствующей предметной области, как при регистрации сигнала, так и при интерпретации результатов. Наиболее остро вопрос преодоления указанных ограничений стоит в ургентной медицине, педиатрии, а также в ситуациях, когда необходима дистанционная диагностика ФС.

Разработан ряд методик оценки функционального состояния (ФС) на основе анализа физиологических сигналов. Ядром комплексов для оценки ФС служит разработанное в лаборатории устройство «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001», на основе которого можно собирать различные по конфигурации биометрические информационно-измерительные комплексы для диагностических и прогностических целей. Для повышения надежности и достоверности оценки состояния такие комплексы, как правило, содержат несколько датчиков одноименных параметров, основанных на разных физических принципах

функционирования, что делает их сложными как структурно, так и функционально из-за многообразия распознаваемых паттернов. Снизить количество непосредственно регистрируемых параметров позволяют новейшие технологии интеллектуального анализа данных (Data Mining), способные извлекать из полученных данных скрытые в них закономерности [9, 24].

3.10. Интеллектуальный анализ данных медико-биологических исследований. Д.т.н. В.А. Дюком разработана принципиально новая технология поиска сложных логических закономерностей в многомерных и разнотипных данных, основанная на представлениях локальной геометрии и средствах интерактивной графики. В этой технологии используется модифицированный аппарат линейной алгебры и процедура активного формирования информационного структурного резонанса в многомерных данных.

Основные характеристики:

- 1) нахождение «сильных» (наиболее полных при заданной точности) if-then правил для каждой записи базы данных;
- 2) построение и тестирование классификаторов данных на основе if-then правил;
- 3) построение «нечетких» if-then правил;
- 4) построение дендрограмм и исследование метаструктуры множества правил.

Дополнительные характеристики:

- 1) полиномиальная сложность;
- 2) отсутствие ограничений на тип данных;
- 3) работа в условиях большого количества пропусков в данных;
- 4) работа в условиях «засоренных» данных;
- 5) нахождение непериодических шаблонов сложной формы в числовых и символьных рядах;
- 6) возможность распараллеливания процесса поиска if-then правил.

Особую ценность предлагаемая технология представляет для предметных областей, в которых анализируемые данные характеризуются высокой размерностью, разнотипностью описаний объектов и сложными структурными связями. Именно к таким областям относятся науки о человеке в целом и, в частности, медицина и биология. Теоретические основы новой технологии защищены в диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук в 2005 г. (В.А. Дюк. Методология поиска логических закономерностей в предметной области с нечеткой системологией: на примере клинко-

экспериментальных исследований. СПбГУ, 2005). Мировых аналогов предлагаемой технологии обнаружения знаний в базах данных не выявлено. Основные теоретические положения технологии были отнесены к важнейшим результатам Российской Академии Наук за 1997–2001 г.

В области интеллектуального анализа В.А. Дюком была опубликована первая в России монография [9].

3.11. Медицинские экспертные системы. Проведенные д.т.н. В.А. Дюком исследования создали в настоящее время предпосылки для внедрения в практику медицины вышеупомянутой технологии поиска логических закономерностей в базах данных. На основе этой технологии удастся в сравнительно небольшие сроки сконструировать эффективные базы знаний экспертных систем для поддержки диагностических и прогностических медицинских решений.

Примером является разработка экспертной системы для оценки риска оперативного вмешательства в кардиохирургии. Применение авторской системы Argos Data Mining (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007612080) позволило построить шкалу оценки риска, существенно более точную, чем известные шкалы EuroScore, Parsonet, шкала риска КШ [8].

3.11.1. Мониторинг психосоматического статуса пациента.

Одним из наиболее существенных пробелов современной терапии вообще и онкологии в частности является практически полное игнорирование психологического фактора в судьбе больного. Отсутствие инструментальных подходов в оценке психосоматического состояния делает невозможным научное решение обозначенной проблемы. Задачей исследования на первом этапе работы стал поиск корреляционных связей между исследуемыми показателями у практически здоровых лиц и создание обучающей выборки.

В результате обработки базы экспериментальных данных, полученной сотрудниками группы «Хрономедицина» «РНЦРХТ Росмедтехнологий» д.м.н. М.А. Бланком и д.м.н. О.А. Бланк, выведены решающие правила сочетаний информативных параметров микровибраций лица и ЧСС, определяющие заданный уровень ситуативной и личностной тревожности человека с вероятностью ошибки 0.01. В общей сложности на каждое индивидуальное обследование было получено более 80 не коррелированных между собой информативных признаков, позволяющих создавать «if-then» правила для автоматической классификации и интерпретации различных психосоматических состояний. Безусловным преимуществом такого подхода является использование

показателей жизнедеятельности, получаемых неинвазивным путем за короткое (3–5 мин.) время и не требующих воздействий, выходящих за рамки физиологических нагрузок, что позволяет использовать систему при скрининговых исследованиях как в диагностических, так и в прогностических целях

3.12. Биоинформатика. Начало 21 века считают стартом новой эпохи в развитии молекулярной биологии и генетики, которую характеризует получение знаний о структурной и функциональной организации полных геномов. Работа в этом направлении получила название аннотации геномов.

К задачам аннотации геномов относятся определение областей геномов, участвующих в синтезе белков, нахождение границ генов, целых оперонов, а также фрагментов, называемых в геномике пунктуационными знаками и исполняющих роль регуляторов различных молекулярно-биологических и биохимических процессов. Перед исследователями геномов стоят также задачи локализации неслучайных повторов, палиндромов, поиска периодичностей и других особенностей геномов, характерных для определенных классов организмов и др.

В области биоинформатики д.т.н. В.А. Дюком получены 2 основных результата. Первый касается поиска паттернов в последовательностях ДНК. В ряде анализируемых последовательностей ДНК (*E. coli* и *Homo sapiens*) с помощью технологии информационного структурного резонанса удалось обнаружить относительно сложные шаблоны с джокерами, следующие с изменяющимся периодом, которые могут представить интерес для теоретической геномики [10].

Второй результат относится к задаче медицинской диагностики по данным ДНК-Микрочипов. При анализе данных микрочипов исследователи сталкиваются с весьма специфической ситуацией, когда число изучаемых генов на два порядка превышает количество имеющихся образцов. Большинство стандартных алгоритмов классификации плохо справляются с решением задач столь высокой размерности и при малом числе примеров (объектов) почти гарантированно переобучаются. Кроме того, как правило, только малая часть из огромного числа проверяемых генов актуальна в контексте решаемых задач.

Проанализированные исходные данные содержали от 20000 до 65000 признаков, по которым требовалось разработать алгоритмы для диагностики 24 классов медицинских пациентов. Для анализа применялась оригинальная технология поиска логических закономерностей на основе представлений локальной геометрии. Несмотря на весьма упрощенную процедуру препроцессинга и предварительной селекции

признаков, технология продемонстрировала свою эффективность и конкурентоспособность для решения задач медицинской диагностики по данным ДНК-микрочипов [11].

4. Заключение. За время существования лаборатории в ней работали 7 докторов наук: Р.И. Полонников, В.А. Дюк, А.В. Копыльцов, В.А. Крыленков, С.Б. Рудницкий, С.А. Лытаев, Ю.И. Сенкевич и 9 кандидатов: А.Н. Радченко, И.Я. Богатушин, В.Ф. Павловский, В.Ф. Катков, Е.Л. Вассерман, В.К. Завируха, Д.А. Толстоногов, Е.А. Попова. В настоящее время в лаборатории трудятся 3 доктора технических наук: С.Б. Рудницкий, В.А. Дюк, Ю.И. Сенкевич; кандидат медицинских наук Е.Л. Вассерман, кандидат физико-математических наук Е.А. Попова, научные сотрудники О.В. Жвалевский и К.Н. Карташев, младший научный сотрудник Д.М. Денисова и ведущие инженеры-программисты И.О. Лисов и Ю.И. Григорьев.

Специфика тематики лаборатории вызывает необходимость тесного сотрудничества с лечебными и научными учреждениями медико-биологического профиля. В настоящее время лаборатория сотрудничает в рамках некоммерческих договоров с НИПНИ им. Бехтерева, СПб ГМУ им. акад. И.П. Павлова, ФГУ «РНЦРХТ Росмедтехнологий», ГУ ААНИ, НИИ скорой помощи им. Джанелидзе.

За последние 5 лет получены следующие наиболее важные результаты:

1. Теоретически обоснованы принципы и разработаны методики, алгоритмы и технологические основы инструментальной количественной оценки психосоматического статуса пациента. Методики основаны на одновременном измерении пульса, микродвижений мышц лица, тестовой оценке тревожности с последующей совместной математической обработкой результатов измерений. Получены решающие правила вида «if-then» для определения заданного уровня ситуативной тревожности человека по сочетанию информативных параметров микровибраций его лица и пульсометрии с вероятностью ошибки не более 0.01. (Результат включен в список важнейших научных достижений РАН за 2008 г.).

2. Разработана математическая модель для экспертной системы прогнозирования разрыва миокарда по установленным факторам риска для больных с острым инфарктом миокарда. Для этих факторов установлены приоритеты на статистических данных 1980 больных и 42 аутопсийных исследованиях, которые показали, что при энтеровирусной инфекции для возраста старше 50 лет таких факторов необходимо

не менее двух, к ним относятся: герпесвирусные инфекции и эмфизема легких, а для возраста старше 70 лет достаточно одного из этих факторов. Математическая модель учитывает динамику репликации вирусов, титр энтеровирусов, оценку активности металлопротеиназ, факторов синтеза коллагена и необходимость превентивной противовирусной терапии. Своевременность оценки состояния больного и превентивная противовирусная терапия для отделения кардиореанимации на 20 коек может сэкономить около одного миллиона рублей в год. Работа выполнена на базе отделения кардиореанимации больницы Святого Георгия. (2009г.)

3. Разработан прототип биометрического программно-аппаратного комплекса мониторинга функционального состояния (ФС) человека для диагностических и прогностических целей. Комплекс позволяет автоматизировать и синхронизировать сбор экспериментальных данных, их комплексную обработку и найти закономерности, позволяющие оценивать психосоматический статус и ряд ФС пациента. Интегрированность комплекса позволяет использовать его при проведении скрининговых исследований в лечебно-профилактических учреждениях и для контроля работоспособности операторов. (Результат включен в список важнейших научных достижений РАН за 2010 г.)

4. Разработаны модуль и программа-корректор логических правил для оригинального метода поиска таких правил, основанного на представлениях локальной геометрии и эффекте информационного структурного резонанса. Эта разработка направлена на решение задачи переобучения (подгонки) модели классификации многомерных данных (2008 г.).

5. Разработан метод поиска логических закономерностей в данных на основе эффекта информационного структурного резонанса, и исследована возможность его приложения к решению задач медицинской диагностики на основе данных ДНК-микрочипов. Исследования показали, что метод информационного структурного резонанса эффективен и конкурентоспособен. Определены ресурсы увеличения эффективности метода в задачах анализа ДНК-микрочипов. (2010 г.)

6. Разработана методология поиска в электроэнцефалограмме (ЭЭГ) человека паттернов, связанных со скрытым информационно-психологическим воздействием. На основе этой методологии (без использования традиционной процедуры усреднения реализаций ЭЭГ) удалось существенно повысить точность и надежность правил выявления эффектов скрытого визуального воздействия на человека по данным ЭЭГ. (2011 г.)

7. На материале лонгитюдного исследования получено экспериментальное подтверждение сформулированной ранее гипотезы о закономерном эволюционном изменении ряда мультифрактальных характеристик ЭЭГ как в норме, так и при церебральном дефекте. Воспроизводимость результатов продемонстрирована при сопоставлении данных, полученных с использованием различной аппаратной, программной и лабораторно-методической базы. (2008 г.)

8. Подтверждены различия в скорости эволюционных изменений электрической активности головного мозга в норме, при левосторонней и правосторонней локализации его дефекта, а также связь вычисляемых параметров электрической активности с характером дефекта. Вычисляемые параметры могут использоваться не только в качестве объективных критериев функциональной зрелости головного мозга, но и как маркеры прогностического неблагоприятного варианта нервно-психического развития. (2008 г.)

Лаборатория приняла участие в следующих выставках:

1) Шестая международная специализированная выставка приборов и оборудования для научных исследований «SIMEXPO — Научное приборостроение-2011» 23–26 октября 2011 года, Москва. Экспонат: устройство «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001».

2) Выставка передовых российских технологий «Russian Hi-tech Exhibition», 20–22 февраля 2012 года, Тегеран, Иран. Экспонаты: Программа «Дихотик и Устройство «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001»

3. Петербургская техническая ярмарка, 12–14 марта 2013 года. Экспонаты: Программа «Дихотик» и Устройство «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001». В конкурсе «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года» «Дихотик» в номинации «Лучший инновационный проект в медицине» получил диплом I степени с вручением золотой медали. «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001» в номинации «Лучший инновационный проект в приборостроении» удостоен диплома.

4. XVI Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий «Архимед-2013», 2–5 апреля 2013 года. Программа «Дихотик» и Устройство «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001». «Дихотик» награждён бронзовой медалью, «Полиграф-синхронизатор ЛБМИ-001» — золотой.

Методические наработки и результаты исследований используются ведущими сотрудниками лаборатории при чтении курсов и научном руководстве дипломниками и аспирантами в ведущих университетах

Санкт-Петербурга: Санкт-Петербургском государственном университете, Санкт-Петербургском электротехническом университете (ЛЭТИ), Российском государственном педагогическом университете им. Герцена, Санкт-Петербургском государственном горном университете.

В ближайшей перспективе планируется сосредоточить усилия на следующих направлениях исследований:

Фундаментальные исследования

1. Разработка новых подходов к измерению, обработке, накоплению и анализу медицинских данных, адекватных системной сложности объектов медико-биологического исследования;

2. Исследование электроэнцефалограмм как электрических проявлений активности сознания и мозга методами математического и имитационного моделирования.

3. Выявление информативных показателей изменчивости функционального состояния человека по данным обработки физиологических сигналов и разработки алгоритмов быстрой обработки и анализа данных для разработки автоматизированных систем реального времени.

Прикладные исследования

1. Разработка новых методов экспресс-диагностики и коррекции сниженных резервов организма, восстановления утраченного здоровья.

2. Разработка новых скрининговых методов анализа клинической и физиологической информации и данных.

3. Разработка МИС, включающих в свой состав средства, предназначенные для профилактики заболеваний.

4. Разработка автоматических информационных систем оказания медицинской помощи на расстоянии — телемедицинских систем (ТМС) различного типа.

Перечисленные направления соответствуют основным научным направлениям ОНИТ РАН и направлениям фундаментальных исследований раздела IV Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008–2013 годы, а именно:

1) Когнитивные системы и технологии, нейроинформатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях.

2) Научные основы применения информационных технологий в медицине.

Литература

1. *Арчаков А.И., Лисица А.В.* Биоинформатика и биоинформационные технологии. URL: <http://www.bioinformatic.ru/bioinformatika/bioinformatika-i-bioinformatsionnyie-tehnologii.html> (дата обращения: 29.04.13)
2. *Блажис А.К., Дюк В.А.* Телемедицина. СПб.: СпецЛит, 2000. 154 с.
3. *Вассерман Е.Л., Карташев Н.К., Полонников Р.И.* Фрактальная динамика электрической активности мозга. СПб.: Наука, 2004. 208 с.
4. *Гаспарян С.А., Пашикина Е.С.* Страницы истории информатизации здравоохранения России. М.: 2002. 304 с.
5. *Гельфанд И.М., Розенфельд Б.И., Шифрин М.А.* Очерки о совместной работе математиков и врачей. Изд.3. М.: Едиториал УРСС, 2011. 320 с
6. *Горбунов Г.А., Козак В.Ф., Сенкевич Ю.И., Клопов В.П., Крыленков В.А.* Медицинское обеспечение Российской антарктической экспедиции. СПб.: тип. ААНИИ, 2009. 188 с.
7. *Дюк В.А.* Компьютерная психодиагностика. СПб.: Братство, 1994. 364 с.
8. *Дюк В.А., Курапеев Д.И.* Применение методов интеллектуального анализа данных для оценки риска оперативного вмешательства в кардиохирургии. // Труды СПИИРАН. СПб.: Наука, 2009. С.187–196.
9. *Дюк В.А., Самойленко А.П.* Data Mining: учебный курс. СПб.: Питер, 2001. 368 с.
10. *Дюк В.А., Сенкевич Ю.И.* Поиск паттернов в молекулярно-генетических данных на основе эффекта информационного структурного резонанса. // Биотехносфера. СПб.: Политехника, 2010. С.44–50.
11. *Дюк В.А., Толстоногов Д.А.* Опыт применения метода информационного структурного резонанса в задачах анализа данных ДНК микрочипов. // Биотехносфера. СПб.: Политехника, 2010. С.52–59.
12. *Дюк В.А., Эмануэль В.Л.* Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. СПб.: Питер, 2003. 528 с.
13. *Копыльцов А.В.* Математическое моделирование и система микроциркуляции. СПб.: ЛГОУ, 2000. 112 с.
14. Литература по медицинским информационным технологиям и медицинской информатике. URL: <http://www.armit.ru/books/index.html> (дата обращения: 29.04.13)
15. Материалы сайта факультета биоинженерии и биоинформатики МГУ им. М.В. Ломоносова. URL: <http://www.fbb.msu.ru/> (дата обращения: 29.04.13)
16. *Полонников Р.И.* Квазиметафизические задачи. СПб.: Анатолия, 2003. 116 с.
17. *Полонников Р. И.* На пути к постижению сущности электрических проявлений сознания. СПб.: Анатолия, 2007. 188 с.
18. *Полонников Р. И.* Основные концепции общей теории информации. СПб.: Наука, 2006. 204 с.
19. *Полонников Р.И.* Феномен информации и информационного взаимодействия. СПб.: Анатолия, 2001. 171 с.
20. *Поспелов Д.А.* Становление информатики в России. URL: <http://www.raai.org/about/persons/pospelov/pages/stanovl.htm> (дата обращения: 29.04.13)
21. *Радченко А.Н.* Ассоциативная память. Нейронные сети. Оптимизация нейропроцессоров. СПб.: Наука, 1998. 261 с.
22. *Радченко А.Н.* Информационные механизмы нейронной памяти и модели амнезий. СПб.: Анатолия, 2002. 297 с.
23. *Рудницкий С.Б., Вассерман Е.Л., Карташев Н.К., Жвалевский О.В.* Комплексирование измерений в физиологических исследованиях: программно-аппаратный

комплекс на основе внешнего синхронизирующего устройства. // Биотехносфера №3–4 (21–22), 2012. СПб.: Политехника. С.72–77.

24. Рудницкий С.Б., Дюк В.А., Жвалецкий О.В., Толстоногов Д.А. Предварительные результаты обработки разнотипных биометрических данных методами Data Mining // Труды СПИИРАН. Вып. 9. СПб.: Наука, 2009. С.197–210
25. Рудницкий С.Б., Жвалецкий О.В. Биометрический комплекс для инструментальной оценки психосоматического статуса человека / Труды СПИИРАН. Вып. 8. СПб.: Наука, 2009. С.61–77.
26. Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге XXI века / Под ред. Р.М. Юсупова и Р.И. Полонникова. СПб.: Анатолия, 1998. 488 с.
27. Тимофеев-Ресовский Н.В., Маленков А.Г. Наследие, ждущее наследников // «Знание — сила», 1983.
28. Юсупов Р.М., Рудницкий С.Б., Вассерман Е.Л., Карташев Н.К., Жвалецкий О.В. Использование внешнего синхронизатора для преодоления проблем организации синхронного сбора физиологической информации при использовании программно-аппаратных комплексов разных производителей. Т. 1: Сборник статей Второй международной научно-практической конференции «Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии и медицине» 26–28.10.2011, Санкт-Петербург, Россия / Под ред. А.П. Кудинова, Б.В. Крылова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. С. 278. 283ISBN 978-5-7422-3181-3

Дюк Вячеслав Анатольевич — д-р тех. наук; ведущий научный сотрудник лаборатории биомедицинской информатики СПИИРАН. Область научных интересов: интеллектуальный анализ данных, методы анализа данных в предметных областях со сложной системной организацией. Число научных публикаций — 120. v_duke@mail.ru; СПИИРАН, ул. 14 линия, 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-54-11, факс +7(812) 328-44-50.

Duke Vacheslav Anatolievich — D. Sc. (Tech.), leading researcher of the Laboratory of biometrical informatics, SPIIRAS. Research interests: intellectual data analysis, methods of data analysis in knowledge domains with complex system structure. Number of scientific publications — 120. v_duke@mail.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-54-11, fax +7(812) 328-44-50.

Рудницкий Сергей Борисович — д-р тех. наук; заведующий лабораторией биомедицинской информатики СПИИРАН. Область научных интересов: комплексная обработка сигналов, принятие решений в условиях неопределенности, биометрия, спутниковая радионавигация. Число научных публикаций — 90. roudnitsky@spiiras.nw.ru; СПИИРАН, ул. 14 линия, 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-54-11, факс +7(812) 328-44-50.

Roudnitsky Sergey Borisovich — D. Sc. (Tech.), chief of the Laboratory of biometrical informatics, SPIIRAS. Research interests: integrated signal processing, decision making under conditions of uncertainty, biometry, long-range radionavigation. Number of scientific publications — 90. roudnitsky@spiiras.nw.ru; SPIIRAS, 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-54-11, fax +7(812) 328-44-50.

Рекомендовано лабораторией биомедицинской информатики, заведующий лабораторией Рудницкий С.Б., д-р техн. наук.

Статья поступила в редакцию 20.02.2013

РЕФЕРАТ

Дюк В.А., Рудницкий С.Б. Лаборатория биомедицинской информатики СПИИРАН.

Обсуждается смысл терминов «биоинформатика», «медицинская информатика» применительно к целям, задачам и методам биомедицинской информатики. Обосновывается наиболее полное, на наш взгляд, определение биоинформатики, как *отрасли науки, изучающей структуру и свойства информации в «живых системах», а также вопросы, связанные с ее сбором, хранением, переработкой, преобразованием и использованием в различных целях на разных уровнях организации живых систем.*

Приводятся вехи истории биомедицинской информатики в России, начиная с создания академиком А.И. Бергом в 1957 году секции при АН СССР «Применение радиоэлектроники в биологии и медицине» и в 1959 году Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика», в состав которого вошла секция «Медицинская кибернетика», вплоть до 2005 года, в котором состоялся Учредительный съезд Ассоциации медицинской информатики и образовано Некоммерческое партнерство «Ассоциация медицинской информатики». Миссией созданной ассоциации является продвижение идеи единой информационной среды здравоохранения во всех ее аспектах.

Кратко описываются основные междисциплинарные научные школы по этому направлению, возглавляемые лидерами отечественной науки: А.А. Ляпуновым, М.Л. Цетлиным–М.М. Бонгардом, И.М. Гельфандом.

Рассматриваются деятельность лаборатории биомедицинской информатики (ЛБМИ) и особенности решения задач биомедицинской информатики в СПИИРАН. Отмечается, что деятельность ЛБМИ охватила значительный круг фундаментальных и прикладных вопросов биомедицинской информатики. Приводится краткое описание направлений деятельности лаборатории с указанием достигнутых результатов:

1. Теоретические основы информатики;
2. Системология наук о живом;
3. Аппаратно-программные комплексы для психофизиологических исследований;
4. Телемедицина;
5. Моделирование биологических систем (математическая биология);
6. Методы, алгоритмы и программное обеспечение обработки электрофизиологических сигналов;
7. Компьютерная психодиагностика;
8. Интерфейс мозг-компьютер;
9. Мониторинг психофизиологического состояния человека;
10. Интеллектуальный анализ данных медико-биологических исследований;
11. Медицинские экспертные системы;
12. Биоинформатика.

В заключении формулируются основные научные результаты, полученные лабораторией за последние 5 лет и направления перспективных фундаментальных и прикладных исследований.

SUMMARY

Duke V.A., Roudnitsky S.B. The laboratory of biomedical informatics at SPIIRAS.

The meaning of terms “bioinformatics” and “medical informatics” is discussed as applied to the goals, problems and methods of biomedical informatics. Justification is given to the definition of bioinformatics that is in our opinion most complete. According to it, *bioinformatics is a field of science that investigates the structure and properties of the information in living systems as well as the problems concerning its gathering, storage, processing, transformation and utilisation for different purposes on different organisational levels of living systems.*

The milestones in the history of Russian biomedical informatics are listed, from Academician A.I. Berg’s founding of the USSR AS division “Use of radioelectronics in biology and medicine” in 1957 and the Scientific council on the complex problem of cybernetics including the Medical cybernetics division in 1959, till 2005, the year in which the Constitutive Council of the Medical informatics association took place and the Non-commercial partnership “Association of medical informatics” was organised. The mission of said association is promoting the idea of united informational environment of public health care in all its aspects.

A brief description is given of principal interdisciplinary scientific schools within this line of investigation headed by Russia’s leading scientists A.A. Lyapunov, M.L. Zetlin–M.M. Bongard, I.M. Gelfand.

The article provides an examination of the activity of the laboratory of biomedical informatics (LBMI) and the characteristics of solving the problems of biomedical informatics at SPIIRAS. It is noted that LBMI’s activity has encompassed a significant range of fundamental and applied problems of biomedical informatics. A brief description is given of the laboratory’s lines of activity, and the achieved results are listed:

1. Theoretical foundations of informatics;
2. Systemology of life sciences;
3. Hardware and software systems for psychophysiological research;
4. Telemedicine;
5. Modelling of biological systems (mathematical biology);
6. Methods, algorithms, and software for electrophysiological signals processing;
7. Computer psychodiagnostics;
8. Brain–computer interface;
9. Monitoring of human psychophysiological state;
10. Intellectual analysis of medical and biological research data;
11. Medical expert systems;
12. Bioinformatics.

In conclusion the principal results achieved by the laboratory in the last five years and the lines of promising fundamental and applied research are set in definite terms.