

УДК 004 + 573

©Коллектив авторов

## БИОЛОГИЧЕСКИ ИНСПИРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМНАЯ БИОЛОГИЯ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ РОССИИ

*В. Л. Калмыков<sup>1</sup>, А. Л. Калмыков<sup>2</sup> и В. В. Корнилов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт биофизики клетки РАН, 142290, г. Пущино, Московской обл.  
эл.почта: kalmykov@psn.ru

<sup>2</sup>Пушкинский научный центр РАН, г. Пущино, Московской обл.  
142290, Пущино, Московская обл., ул. Институтская, д.3,  
Институт биофизики клетки РАН.

На основе анализа материалов, представленных в Интернете, сделан вывод, что одним из важнейших резервов дальнейшего повышения конкурентоспособности России следует считать форсированное развитие биологически инспирированных информационных технологий. Успешность развития этого направления связана с достижениями всего комплекса биологических дисциплин и, особенно, с развитием системной биологии, включающей общую физико-математическую теорию живого, биоинформатику и физиомику. В данном контексте нам представляется возможным выделить три основных направления наиболее перспективных исследований в области наук о живом:

1. Системная биология = геномика + протеомика + мембраномика + метаболомика.

2. Биология как информационная наука. Вся сфера живого основана на информационных процессах и имеет единую специфическую логику организации и развития - от молекул до компьютеров. Изучение этой логики является одной из основных задач наук о живом.

3. Биоинженерия, биоматериалы, биосенсоры, биоэлектроника.

Новые, наиболее эффективные решения научных и прикладных задач зачастую возникают как результат соединения и взаимодополнения ранее несвязанными идеями, техническими и технологическими блоками из различных дисциплин. Качественный переход знаний в результате таких междисциплинарных исследований сродни изобретению и зачастую приводит к интегрированию знаний на новом, более высоком уровне. Науки о живом занимают в междисциплинарных исследованиях особое значение. Именно от биологически инспирированных подходов ожидается основной вклад в дальнейшее развитие информационных технологий и робототехники.

Для создания новых биологически инспирированных информационных технологий необходимо проводить специальную аналитическую и исследовательскую деятельность по созданию обобщенной физико-математической теории живого. Успехи в этой области могут ключевым образом ускорить развитие вычислительной техники, программирования, баз знаний и систем управления. Государство, правительство которого сможет найти идеи, средства, кадры и организационные возможности для реализации проекта создания полнофункциональной системы искусственного интеллекта (Strong Artificial Intelligence), по-видимому, займет лидирующее стратегическое положение в современном мире.

**Ключевые слова:** биоинформатика, искусственный интеллект, искусственная жизнь, информационные технологии, теоретическая биология, информационная инфраструктура

**ВВЕДЕНИЕ.** Ранее основная стратегическая конкуренция между государствами была связана с темпами индустриализации, с самолетостроением, ракетостроением, с созданием автоматического, ядерного, химического, биологического видов оружия и соответствующих средств защиты. В настоящее время стратегическая конкуренция переместилась в область создания и использования новых информационных технологий. Эти технологии призваны обеспечивать эффективность принятия решений как в мирное время, так и в условиях войны. Информационные технологии пронизывают все

общественные структуры и играют все возрастающую роль в развитии науки и техники, экономики и системы образования. Центральным звеном в развитии информационных технологий является создание систем автоматизации принятия и выполнения решений в сложных многоуровневых и многокомпонентных ситуациях. Успехи в этом направлении будут базироваться на использовании идей, возникших в ходе междисциплинарных исследований в науках о живом. Привычными становятся такие термины из этой области, как нейронные сети, генетические алгоритмы, эволюционное программирование, автономные интеллектуальные агенты, клеточные автоматы, искусственная жизнь. Искусственная жизнь [1] предполагает интеграцию различных подходов к компьютерному воспроизведению логики организации и эволюции живых систем с многочисленными направлениями исследований по искусственному интеллекту. Благодаря наличию беспрецедентного социального заказа, связанного с глобальной информатизацией, это направление активно развивается и пополняет собой научное пространство, занятое ранее теоретической биологией [2]. Важной особенностью искусственной жизни является моделирование как искусственного субъекта, так и окружающей его среды.

Наряду с биологически инспирированными информационными технологиями, можно выделить еще одно актуальнейшее направление - биобезопасность [3].

Успехи в развитии этого направления связаны как с достижениями всего комплекса биологических дисциплин, так и с применением информационных технологий и вычислительной техники. В данной работе вопросы биобезопасности детально рассматриваться не будут.

"XXI век будет веком биологии" - с этим сегодня согласны многие. Большую известность получили трансгенные организмы и клонирование, - однако многие биологически инспирированные инновации, которые изменят лик нашей цивилизации, могут быть не столь очевидны. Представляет естественный интерес провести оценку того, какие перспективные достижения наук о жизни потенциально окажут наибольшее влияние на цивилизацию XXI века. Расширение горизонтов науки происходит за счет создания таких объектов как новые факты, новые идеи (подходы, взгляды, интерпретации, концепции, теории, модели) и новые инструменты (приборы, методы). Влияние науки на общество реализуется как через создание новых технологий, так и через формирование нового мировоззрения и нового образа жизни. Мировоззрение можно рассматривать как самоидентификацию, т.е. получение ответов на вопросы: кто мы? (что такое жизнь?, что такое информация?), что нас окружает? (где мы?), куда мы идем? (что такое эволюционный прогресс?) Наука отвечает сегодня на эти вопросы весьма неполно. Новое знание в науке создается как за счет появления перечисленных новых объектов, так и за счет их новых сочетаний.

Нам представляется возможным ориентировочно выделить три основные направления наиболее перспективных исследований в области наук о живом:

1. Геномика + протеомика + мембраномика + метаболомика + расшифровка сетевой информации интеграции сложных биологических систем (физиомика - *physiomics* [4], интегральная биоинформатика).

Биология, продолжая интенсивно накапливать факты о биологических объектах, приступает к их интеграции. В процессе интеграции фактов и идей появляется полноценное знание. Завершение программы "Геном человека", интенсификация исследований в области протеомики продолжают накопление знаний о структуре и функциях молекул, лежащих в основе живых объектов. Следующий этап - это изучение функционирования этих молекул в контексте общей иерархической организации клетки.

2. Биология как информационная наука.

Вся сфера живого основана на информационных процессах и имеет единую специфическую логику организации и развития - от биомолекул до компьютеров. Изучение этой логики является одной из основных задач наук о живом. Задача формулирования и технической реализации инвариантной (независимой от конкретной элементной базы) функциональной логики организации и эволюции живого стала целью новой научной дисциплины - "искусственной жизни". Логике организации и эволюции живого изучают и используют робототехника и такие направления информатики, как "генетические алгоритмы", "нейронные сети", "эволюционные вычисления", "автономные адаптивные агенты", и т.д. Сегодня важно искать общие цели исследования, модели, и методы для всех этих дисциплин и традиционной биологии. Биологически инспирированные подходы в информатике оказались очень плодотворными. К объектам наук о жизни можно отнести не только биологические организмы, но и такие расширения

и порождения последних, как социальные и технические объекты. Компьютеры могут попасть в поле зрения наук о живом как многообещающие объекты исследований функциональной логики живого.

### 3. Биоинженерия, биоматериалы, биосенсоры, биоэлектроника.

Фундаментальные исследования с целью модификации и использования биологических организмов и их частей для создания новых приложений в области медицины и техники включают в себя: генетически модифицированные и клонированные организмы; искусственные органы; биосенсоры; биокомпьютеры - компьютеры, элементная база которых содержит биологические материалы; биоэлектроника; самовосстанавливающиеся антикоррозионные покрытия; нанотехнология с использованием биомолекул; новые источники энергии, использующие биологические молекулы.

Дальнейшее развитие информатики, квинтэссенцией которого является создание принципиально новых систем автоматизации принятия и выполнения решений, связывается сегодня с использованием биологически инспирированных подходов. Государство, правительство которого сможет найти идеи, средства, кадры и организационные возможности для реализации проекта создания полнофункциональной системы искусственного интеллекта (Strong Artificial Intelligence) по-видимому, займет лидирующее стратегическое положение в современном мире.

**К ИНФОРМАЦИОННОМУ ОБЩЕСТВУ, К НОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ РОССИИ.** Быстрыми темпами возникает новая экономика современных государств, основанная на информационных технологиях и информационных службах. Эта новая экономика возникающего информационного общества разрушает привычную иерархию промышленного мира. Информационное общество отличается от общества, в котором доминируют традиционная промышленность и сфера услуг тем, что информация, знания, информационные услуги, и все отрасли, связанные с их производством (телекоммуникационная, компьютерная, телевизионная) растут более быстрыми темпами, являются источником новых рабочих мест, становятся доминирующими в экономическом развитии. Государства, которые плохо адаптируются к темпам развития инфосферы, ожидает участь не только потери конкурентоспособности перед лицом США [5], Канады, объединенной Европы и азиатских экономик, но и рост внутрисоциального социального отчуждения. Поэтому нашему государству важно сформулировать концепцию построения информационного общества, которая может послужить объединяющим идейным началом для России, дать целостное видение целей и задач общественного развития, предложить конкретные пути их достижения.

Оптимальное устройство государственной информационной инфраструктуры предполагает наличие четких представлений о правах и обязанностях субъектов всех видов собственности. Предполагается также эффективная интеграция всех информационных ресурсов. Если, согласно известной поговорке, - время это деньги, то в современном мире информация это больше чем деньги, - это сущность и стержень социальных процессов, это квинтэссенция государственных и общественных интересов. Много говорится о важности сбора налогов, о важности внимания к налоговой службе. По-видимому, настало время для создания института информационной службы. Речь, конечно, не идет о возрождении удушающего запретительно-разрешительного института Цензуры. Нужна специальная система, обеспечивающая эффективное функционирование инфосферы государства в интересах процветания граждан, общества и государства. Акцент целесообразно сделать не только и не столько на ограничении доступа к секретам, сколько на обеспечении наличия определенных информационных ресурсов и гарантиях свободного доступа к ним. Например, можно было бы законодательно требовать создания собственных веб-сайтов предприятий независимо от форм собственности и регламентировать обязательное представление определенной информации о предприятии. В век электронной коммерции это, в первую очередь, в интересах предприятия. Свобода информационных процессов - это осознанная степень их необходимой регламентации, требуемой для достижения национального процветания. Субъект права может иметь законодательные права по реализации своих интересов в информационной сфере, но реализовать эти права (а не просто опротестовывать их нарушение в суде) он сможет только в рамках специально созданной, государственной информационной инфраструктуры. В частности, должны существовать единые стандарты баз данных и единые стандарты доступа к ним. Иначе, в лучшем случае, сохранится разрешительный режим доступа к информационным ресурсам. В связи с этим возникают следующие



вопросы:

Как оптимально выстроить государственную информационную инфраструктуру, отталкиваясь не только от ведомственных и групповых интересов, но и от общенациональных интересов, от интересов личности, общества и государства в их наиболее сбалансированной форме?

Как наиболее эффективно защитить права и интересы всех субъектов информационной сферы?

Как оптимально сочетать открытость и закрытость информационных ресурсов относительно различных субъектов права и относительно международной системы обмена информацией?

Для получения ответов на эти вопросы важно:

1. Сформулировать *основные понятия* и критерии в области информационной сферы:

*Понятия:* информации, информационной сферы субъекта права, процедуры принятия решений, информационной инфраструктуры, обязанностей и прав субъектов различных уровней организации информационной инфраструктуры (особенности вертикальных и горизонтальных связей относительно старой, новой, открытой, закрытой информации).

*Критерии:* прогресса и эффективности.

Эти понятия и критерии помогут создать адекватную культуру для ориентации любых субъектов права в информационной сфере.

2. Тщательно спроектировать и построить оптимально организованную информационную инфраструктуру государства, а также, процедуры и способы эффективной поддержки ее деятельности.

**О КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РОССИИ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.** Фактом является все большее отставание нашей страны в области создания собственных информационных технологий. Можно сделать заключение, что по ряду ключевых позиций мы отстали навсегда и безопасности нашей страны угрожает появление опасных технологических неожиданностей в этой области. Однако, существуют точки роста в которых мы можем иметь преимущества. Дело в том, что ожидаемое появление принципиально новых информационных технологий связывается с всесторонней интеграцией существующих решений. Нахождение таких интегральных решений требует предельно высокой методологической культуры, широты мышления и изобретательности. Пока еще сохраняющийся высокий уровень образованности россиян позволяет предполагать конкурентоспособность нашего научно-технического персонала в этом специфическом направлении.

В США опасаются [6] появления угроз своей национальной безопасности в связи с весьма вероятным созданием в России новых высокоэффективных систем искусственного интеллекта. Эти опасения строятся на том основании, что российская наука создала новые оригинальные парадигмы в таких областях как теоретическая биология, семиотика, нейропсихология, теория открытых комплексных систем. Эти новые парадигмы с трудом воспринимаются западной мыслью. Ставится задача реализации "манхэттенского проекта автоматизации работы со знаниями" ("A Knowledge Possessing Manhattan Project"). Под аналогией с манхэттенским проектом подразумевают наличие агрессивного генерального менеджмента, адекватного научного руководства и соответствующей революционной математической теории [7].

Одним из впечатляющих примеров конкурентоспособности России в области компьютерных разработок является разработка, патентование в США и успешные эмуляционные (компьютерно-модельные) испытания командой российских разработчиков под руководством чл. кор. РАН Б.А. Бабаяна самого производительного микропроцессора в мире Эльбрус-2000 [8] или E2K [9]. Данный микропроцессор представляет собой реальную альтернативу потенциальной монополии Intel. Интересно [10], что интеловский микропроцессор Pentium Pro 1995 года имеет архитектуру реализованного в железе еще в 1978 году отечественного суперскалярного компьютера Эльбрус-1. Кроме того, интеловский Merced (в октябре 1999 "Merced" был переименован в "Itanium") имеет архитектуру и основные характеристики построенного еще в 1991 году отечественного компьютера Эльбрус-3 (реализовавшего вычисления с явным параллелизмом команд). Компьютеры Эльбрус, реализующие основные принципы современных микропроцессорных архитектур начали выпускаться задолго до того, как аналогичные идеи появились на Западе. Владимир Пентковский, ведущий разработчик микропроцессоров фирмы Intel, а ранее принимавший участие в разработке



отечественных суперкомпьютеров Эльбрус-1, Эльбрус-2 и возглавлявший разработку отечественного микропроцессора Эль-90 является главным архитектором микропроцессора Pentium III - приведём дословную цитату с сайта компании Intel [11]: "Владимир Пентковский является главным инженером в Группе создания микропроцессоров в Folsom. Он был одним из архитекторов в основной команде, которая определила потоковые Интернет-SIMD расширения IA-32 архитектуры. Владимир руководил созданием архитектуры процессора Pentium III и анализом его работы. Ранее он занимался созданием компиляторов, программного обеспечения и поддержки аппаратных средств языков программирования для компьютеров мультипроцессора "Эльбрус" в России. Владимир защитил кандидатскую и докторскую диссертации по информатике в России. Его электронная почта - vladimir.m.pentkovski@intel.com)".

Запад отреагировал на Эльбрус-2000 статьей "Русские идут. Разработчик суперкомпьютера Эльбрус хочет вступить в схватку на поле x86/IA64" Кейта Дифендорфа (разработчика микропроцессоров Motorola 88k, NexGen, а также главного редактора и аналитика этого самого авторитетного журнала по микропроцессорной технике - Microprocessor Report). Последовала бурная дискуссия в Интернет на Usenet-телеконференции comp.arch, посвященной компьютерным архитектурам. "Эти русские, у которых и до августовского-то кризиса все давно развалилось, а микропроцессорная отрасль и вовсе в нокдауне, исхитрились спроектировать микропроцессор, который по эмуляционным испытаниям в пять раз быстрее процессора Itanium (и превосходит его по всем остальным важнейшим параметрам! Кейт Дифендорф положительно характеризуя "восхитительное устройство с захватывающими техническими возможностями" и "предвестника будущих микропроцессоров" выделяет три основных препятствия на пути массового производства E2K [12]:

- отсутствие в России современных полупроводниковых технологий;
- отсутствие у России доступа к финансовым средствам Запада;
- наличие стратегических конкурентов.

Россия практически свободна от вышеперечисленных сдерживающих факторов в отношении создания новых, беспрецедентно эффективных информационных технологий в области автоматической компьютерной поддержки принятия и реализации решений, создания реальных систем искусственного интеллекта на базе доступных компьютерных элементов. Данное направление является одним из наиболее перспективных направлений развития современных информационных технологий. Благодаря научным достижениям последних десяти лет и наличию соответствующего социального заказа на развитие информационных технологий, декларации, сказки и мечты об искусственном интеллекте превращаются в ясно ощущаемую реальную перспективу и в наиболее важную из возможных технологических неожиданностей (особенно для скептиков в этой области). В настоящее время существуют по крайней мере два зарегистрированных изобретения, сделанных с использованием программ искусственного интеллекта, основанных на идеях биологического происхождения:

1. Специальная проволочная антенна, разработанная на базе генетических алгоритмов, а также сам метод разработки [13].

2. Проект крыла самолета [14].

Наиболее очевидными решениями в области биологически инспирированных систем искусственного интеллекта и робототехники являются прямые конструкционные аналогии типа: сделаем робота столько же ног, сколько и у паука или сделаем искусственный мозг с таким же количеством нейроноподобных элементов, сколько нейронов в мозге человека. Более эффективным представляется использование аналогий функциональной, а не принципиальной схемы устройства живых систем. Это, однако, более сложная задача и такой подход требует фундаментального физико-математического понимания таких явлений, как информация, организм, эволюция, творчество, организация.

**КЛЮЧЕВАЯ РОЛЬ НАУК О ЖИЗНИ В СТРАТЕГИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ЦИВИЛИЗАЦИИ.** Новые, наиболее эффективные решения научных и прикладных задач зачастую возникают как результат соединения и взаимодополнения ранее несвязанными идеями, техническими и технологическими блоками из различных дисциплин. Качественный переход знаний в результате таких междисциплинарных исследований сродни изобретению и зачастую приводит к интегрированию знаний на новом, более высоком уровне. Науки о живом занимают в междисциплинарных исследованиях особое значение. Именно от биологически инспирированных подходов ожидается основной

вклад в дальнейшее развитие информационных технологий и робототехники (см. поисковую машину [www.google.com](http://www.google.com) по ключевым словам "biologically inspired information technologies" и "bio-inspired information technologies"). Междисциплинарные исследования в науках о живом важны для различных аспектов государственной конкурентоспособности. За последние 50 лет крупные успехи были достигнуты в областях, пограничных между биологией и точными науками (физикой, химией, математикой). Родилась и царствует ныне молекулярная биология. Возникли и значительно развились многочисленные новые научные направления понимания и моделирования отдельных механизмов организации и самоорганизации сложных систем - кибернетика, теория связи, физика нелинейных процессов, синергетика [15], теория систем. Пристальный взгляд на колоссальные успехи в этих пограничных областях выявляет, однако, что действительная революция в биологии, подобная революции в физике в 20-30 годы XX века, еще не произошла. Целостная математически интерпретированная теория живого еще только создается. Накоплен беспрецедентный в истории науки объем точных фактов и частных теоретических моделей. Возникло ощущение революционной ситуации в науках о живом - ощущение близости и жизненной необходимости возникновения обобщенной физико-математической теории живых систем. Эта теория может быть использована для решения экологических, экономических и социальных проблем.

Феномен информации неразрывно связан с феноменом жизни. Информация возникает одновременно с появлением живого и является его самой главной особенностью. Несмотря на то, что информационные технологии определяют лицо современного общества, физическое понимание информации отсутствует и соответствующая теория не создана. Теория Клода Шеннона не является теорией информации, хотя ее так и называют. Это теория о надежности информационных трубопроводов (линий связи), но не теория о природе содержимого этих трубопроводов (линий связи). Поскольку информация возникает одновременно с возникновением живого, междисциплинарные исследования живых систем с наибольшей вероятностью окажутся областью возникновения полноценной теории информации. Уместно отметить наличие аналогичных белых пятен в научном понимании и других ключевых понятий. До сих пор нет общепринятого теоретического понимания *физической природы живого, эволюции, творчества (механизма возникновения новых знаний), энтропии, сознания, механизмов целостной организации*. Как и в случае с информацией, методологические исследования живых систем призваны содействовать прогрессу в этих областях. Сейчас много говорят о том, что XXI век будет веком биологии, веком в котором науки о живом займут ключевые стратегические позиции во многих сферах, включая здравоохранение, экологию, науку, образование, экономику и оборону. Поскольку жизнь является наиболее комплексным, наиболее сложным и самым интегрированным феноменом на Земле, обобщенная теория живого призвана стать теорией целостности, комплексности и сложности. Такая теория способствовала бы интеграции и выживанию человеческой цивилизации в наиболее опасный период ее развития перед лицом таких проблем, как перенаселение, нехватка ресурсов, угроза экологического кризиса, наличие оружия массового уничтожения. Особенность современного положения состоит в том, что для решения этих проблем практикуются методы информационных войн. Информационные войны сильно отличаются от традиционных. Проигравший информационную войну может узнать о самом факте ее ведения уже после того, как все кончится. А может и не узнать вообще. Просто его дела пойдут намного хуже.

*Обобщенная теория живого* может стать не только теоретической базой системной биологии и технического воспроизведения живого, но и основой логики интегрального конфигурирования национального и, возможно, глобального киберпространства. Один из авторов данной статьи имеет отношение к попыткам физико-математического формулирования основных понятий такой теории [16].

Наглядную демонстрацию актуальности и широкого внимания, проявляемого в мире к использованию биологически инспирированных решений в компьютерных науках, робототехнике и телекоммуникациях можно получить, сделав запрос на поисковой машине (например, на [www.altavista.com](http://www.altavista.com) по ключевым словам "biologically inspired" или "biologically inspired computation").

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКАХ О ЖИЗНИ И СТРАТЕГИЧЕСКАЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАТИКИ.** Ярким примером пристального внимания к важности междисциплинарных исследований

является программа министерства обороны США по поддержке "Университетских инициатив в области мультидисциплинарных исследований" [17]. Коротко охарактеризуем эту программу на примере проектов 2000 года "MURI 2000" (программа работает и сейчас). В программе участвовали многие агентства министерства обороны. Грантовая поддержка 0,5 - 1,0 млн. долларов на грант или 100-150 тыс. долларов на одного участника гранта в год. Цель программы - ускорение прогресса в критических для национальной безопасности научных исследованиях путем взаимного оплодотворения идей из разных областей науки и техники. Направление исследований - информационные технологии и другие стратегически важные для обороны исследовательские области. Перечислим некоторые (всего 13 направлений) основные направления исследований, поддерживаемые программой MURI 2000:

1. Интегрирование военных данных от сильно распределенных микро-сенсоров.
2. Фундаментальные принципы технологии адаптивного обучения в географически распределенных системах в условиях современной войны.
3. Принятие решений в условиях неопределенности.
4. Системы искусственного интеллекта для обучения персонала в диалоговом режиме.
5. Фундаментальные подходы к созданию нового класса материалов из биологических и гибридных биоорганических реагентов для молекулярной электроники, для миниатюризации новых систем вооружений, для создания химических и биологических датчиков безопасности и новых типов самовосстанавливающихся покрытий.

Упомянем еще две программы министерства обороны США, в которых декларируется принципиальная направленность на использование биологически инспирированных решений и междисциплинарных подходов. Обе программы поддерживаются Агентством современных оборонных исследований (DARPA). 20 апреля 1999 года была запущена программа "Distributed Robotics Program" - программа по разработке революционных подходов к созданию биологически инспирированных роботов, экстремально малых роботов, реконфигурируемых роботов и систем, состоящих из роботов. Вторая программа, реализуемая США с 1998 года - Высокоэффективные базы знаний (НРКВ) - исследовательская программа по развитию компьютерных технологий, технологий по приобретению, представлению и манипулированию знаниями. В настоящее время эта программа закончена. Смысловое продолжение этой программы сегодня звучит как "Быстрое создание знаний" [18]. В 1998 году Национальный научный фонд США открыл крупную программу "знания и распределенный интеллект" [19], посвященную разработке принципиально новых подходов к автоматизации процедур принятия решений в сложных ситуациях с большим количеством участников. Особенно интересен для обсуждаемой темы блок этой программы, посвященный научному пониманию особо сложных систем и использованию этого понимания для создания новых информационных технологий [20].

В последние 10 лет особое развитие получили научные направления и научные проекты, одновременно связанные и с науками о жизни и с информационными технологиями. Это искусственная жизнь (artificial life), генетические алгоритмы (genetic algorithms), генетическое программирование, интеллектуальные агенты, нейронные сети, клеточные автоматы, искусственный мозг (artificial brain) - проект реализованный фирмой Genobyte Inc., созданной и возглавляемой бывшим советским инженером Михаилом Коркиным - беспрецедентная самопрограммируемая система, вошедшая в 2001 году в книгу рекордов Гиннеса как самый сложный искусственный объект, а также многие другие.

Общая цель этих направлений и проектов - создание новых и революционно более эффективных информационных технологий. Многие стратегические проекты в области искусственного интеллекта, включая японские национальные программы ("Компьютеры пятого поколения к 1990 году") и "Системная теория творчества" (System Theory of Functional Emergence 1995-1997) в точном смысле поставленных целей провалились. "вследствие отсутствия фокуса, конкретного объекта и методологического понимания, ... вследствие отсутствия новых концепций, идей и инноваций в области науки о живом". Цитата взята из экспертной оценки результатов последнего проекта [21]

Интересен американский проект компьютерной энциклопедии знаний [22], частично заверченный в виде ряда коммерческих продуктов за период с 1980. Это проект создания программы искусственного интеллекта, позволяющей компьютеру самостоятельно понимать смысл тысяч важнейших терминов на уровне здравого смысла



обычного человека. Проект потребовал больших капиталовложений и был поддержан как агентствами министерства обороны США, так и ведущими фирмами по производству программных продуктов. Этот проект журналисты также называли "Новым Манхэттенским".

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Одним из важнейших резервов дальнейшего повышения конкурентоспособности России следует считать форсированное развитие биологически инспирированных информационных технологий. Важно отметить, что хотя в настоящее время биологически инспирированные методы автоматической поддержки принятия решений обладают большей эффективностью, чем традиционные, но, зачастую, они являются просто более искусными сочетаниями классических подходов под более актуальными названиями. Прорыв в этих областях еще только ожидается, т.к. революция в теоретических знаниях о живом - пока впереди. Как следствие - биологически инспирированные методы еще далеки от своей возможной эффективности. Дальнейшие перспективы связаны с созданием полнофункционально интегрированных автономных интеллектуальных систем, обладающих мировоззрением, знаниями и способностью к творческой деятельности. Такие автономные высокоинтеллектуальные системы будут субъектами искусственной жизни и основой будущей беспрецедентной интеллектуальной революции. Для создания новых биологически инспирированных информационных технологий необходимо проводить специальную аналитическую и исследовательскую деятельность по обобщенной физико-математической теории живого. Успехи в этой области могут ключевым образом ускорить развитие вычислительной техники, программирования, баз знаний и систем управления.

**ОБСУЖДЕНИЕ** данной статьи на странице Интернет-конференции "Информационно-вычислительные технологии в решении фундаментальных научных проблем и прикладных задач химии, биологии, фармацевтики, медицины" (2003) <http://www.ivtn.ru/2-session/enter/paper.phtml?r=53>

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Масалович А. (1995) ТРОПОЮ СОЗДАТЕЛЯ Первые шаги". <http://www.tora-centre.ru/library/ns/a-life.htm>
2. Emmeche K. (1999) Theoretical Biologists, Philosophers of Biology, Historians of Biology and scholars of Social Studies of Biology, <http://www.nbi.dk/~emmeche/theobiophi.html>.
3. Кампания Социально-Экологического Союза "За биобезопасность" - <http://www.seu.ru/programs/biosafety/>
4. Hippron Physiomics Inc. (2003) A privately held corporation specializing in Web-based software for the visualization and analysis of biological signaling pathways, <http://www.hippron.com/>.
5. Internet 2 - Abilene Project (2003), Yahoo! Directory, [http://dir.yahoo.com/Computers\\_and\\_Internet/Internet/Internet\\_2\\_Abilene\\_Project/](http://dir.yahoo.com/Computers_and_Internet/Internet/Internet_2_Abilene_Project/).
6. First General Announcement proposing a Knowledge Processing Manhattan Project. (1998) Written by Behavioral Computational Neuropsychology (BCN) Group, Founding Committee, <http://www.bcngroup.org/area3/manhattan/FGA.htm>
7. The Manhattan Project was created to organize scientific minds and resources. (1998) <http://www.bcngroup.org/area3/manhattan/two.htm>
8. Бабаян Б. (2001) Основные принципы архитектуры E2K [http://www.mcst.ru/mcst/e2k\\_arch.shtml](http://www.mcst.ru/mcst/e2k_arch.shtml)
9. Все о процессоре E2K. Каталог "Союз" (1999) <http://souz.co.il/internet/node/e2kFolder/>
10. Пылкин А. (1999) Эльбрус Бабаяна и Pentium Пентковского <http://www.ixbt.com/cpu/e2k-spec.html>
11. Pentkovski V. (1999) Pentium® III Processor Implementation Tradeoffs (continued). Authors' Biographies, p. 11, [http://developer.intel.com/technology/itj/q21999/articles/art\\_2.htm](http://developer.intel.com/technology/itj/q21999/articles/art_2.htm)
12. Dieffendorff K. (1999) Microprocessor Report., 13, n. 2,
13. Altshuler, Edward E. and Linden, Derek S. (1998) US Patent 5, 719, 794.
14. Kroo, I. M., McMasters, J.H., and Pavak R. J. (1995). US Design Patent number USD036 3696.

15. Данилов Ю. А., Б. Б. Кадомцев (1983)  
<http://www.synergetic.ru/science/index.php?article=dan>
16. Kalmykov V.L. (1997) Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, **1305**, pp. 43-51.
17. MURI, Multidisciplinary Research Program of the University Research Initiative  
[http://www.onr.navy.mil/sci\\_tech/industrial/muri.htm](http://www.onr.navy.mil/sci_tech/industrial/muri.htm)
18. Rapid Knowledge Formation (RKF) Program. (2003)  
<http://reliant.teknowledge.com/RKF/>
19. Knowledge and Distributed Intelligence (KDI) (1998)  
<http://www.ehr.nsf.gov/kdi/default.htm>
20. New Computational Challenges (KDI/NCC)  
(<http://www.nsf.gov/pubs/1998/nsf9855/nsf9855.htm>)
21. Annual Report of Research on System Theory of Function Emergence. (1997) Kobe University, <http://emergence.in.kobe-u.ac.jp>.
22. CYC, Cycorp Inc., (2003), <http://www.cyc.com/>

#### BIOLOGICALLY INSPIRED INFORMATION TECHNOLOGIES, SYSTEM BIOLOGY AND COMPETITIVENESS OF RUSSIA

*V.L.Kalmykov<sup>1</sup>, A.L.Kalmykov<sup>2</sup> and V.V.Kornilov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of cell biophysics RAS, 142290, Pushchino, Moscow Region, Russia  
e-mail: [kalmykov@psn.ru](mailto:kalmykov@psn.ru)

Institute of Cell Biophysics of the RAS, bld.3, Institute Street,  
Pushchino, Moscow Region, 142290, Russia.

<sup>2</sup>Pushchino scientific centre RAS, Pushchino, Moscow Region, Russia

A conclusion is made on the basis of the analysis of materials of Internet, that one of the major reserves of the further increase of competitiveness of Russia based on the development of biologically inspired information technologies. In the given context it is possible to allocate three basic lines of the most perspective researches in the field of life sciences:

1. A system biology = genomics + proteonomics + membranomics + decoding of the network information of integration of complex biological systems (physiomics, integrated bioinformatics, generalized physico-mathematical theory of life).

2. Biology as an information science. All spheres of live are based on information processes and have uniform specific logic of the organization and evolution - from biomolecules up to computers. Studying of this logic is one of the main goals of life sciences.

3. Bioengineering, biomaterials, biosensors, bioelectronics. New, most effective decisions of scientific and applied problems frequently arise as result of connection and mutually complements by each other of earlier untied ideas, of technical and technological blocks from various disciplines. Qualitative transition of knowledge as a result of such interdisciplinary researches is similar to the invention and frequently leads to to integration of knowledge at new, higher level. Life sciences have special value in interdisciplinary researches. It is connected with that that they are most interdisciplinary. Special value has also what from biologically inspired approaches is expected the basic contribution to the further development of information technologies and robotics.

For creation of new biologically inspired information technologies it is necessary to carry out special analytical and research activity on creation of the generalized physico-mathematical theory of live. The state, which government can find of ideas, means, the staff and organizational opportunities for realization of the project of creation of full-function system of an artificial intellect (Strong Artificial Intelligence) apparently, will take leading strategic position in the modern world.

**Key words:** bioinformatics, artificial intelligence, artificial life, information technologies, theoretical biology, information infrastructure