

---

# **Расширенный семинар**

**Перспективные компьютерные системы:  
устройства, методы и концепции"**

**Таруса, 2-4 марта 2011 г.**



Нижегородский государственный университет  
им. Н.И.Лобачевского



*Нижегородский национальный исследовательский университет*

**Институт прикладной физики РАН**

**Проект:**

***Использование специализированных  
высокопроизводительных компьютеров на  
базе новейших графических процессоров в  
системах медицинской диагностики***



**Гергель В.П.**, профессор, д.т.н.

Декан факультета вычислительной математики и  
кибернетики Нижегородского университета

**Сергеев А.М.**, профессор, д. ф.-м. н., член-корр. РАН  
зам. директора Института прикладной физики РАН



## **Исполнитель проекта:**

Нижегородский государственный университет  
им. Н.И.Лобачевского (ННГУ), ректор проф. Чупрунов Е.В.

## **Организации-соисполнители:**

Институт прикладной физики РАН

Институт медико-биологических проблем РАН

Институт проблем лазерных и информационных технологий  
РАН

НИИ системных исследований РАН

Приволжский окружной медицинский центр ФМБА России

Нижегородская государственная медицинская академия

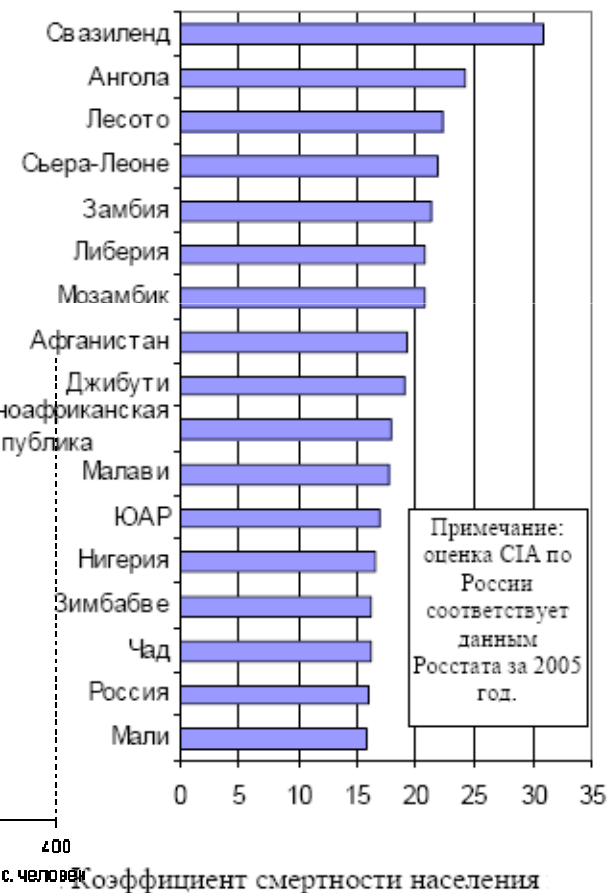
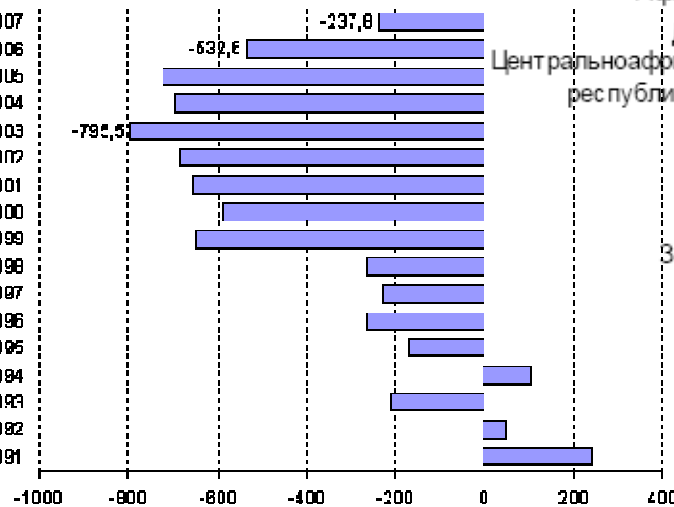
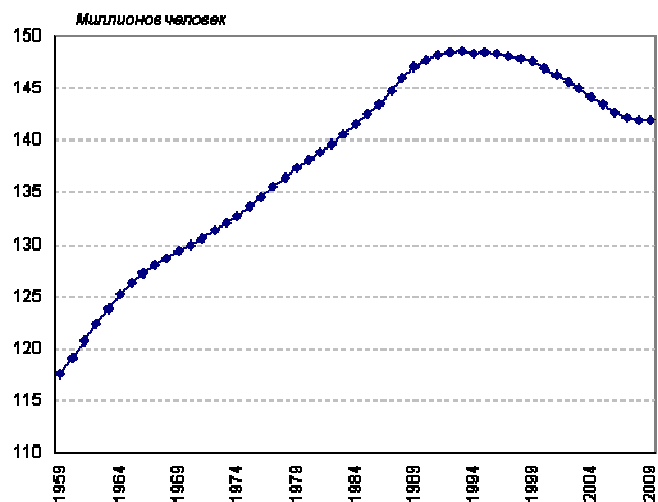
Российский федеральный ядерный центр - ВНИИЭФ



# Проблемы, на решение которых направлен проект...

Одна из наиболее острых социально-значимых проблем России – **критически-опасная демографическая ситуация в стране:**

- Низкая продолжительность жизни (162 место в мире),
- Высокая смертность (12 место в мире),
- Сокращение народонаселения (6.5 млн. за 1995-2007 гг.)



# Проблемы, на решение которых направлен проект...

"Diagnosis cetera - ullae therapiaefundamentum"  
("Достоверный диагноз - основа любого лечения")

- Перспективный путь решения проблемы - организация профилактики здоровья населения, обеспечение ранней точной диагностики на основе широкого использования **высокотехнологических методов медицинской диагностики** - компьютерной рентгеновской (КТ), магнитно-резонансной (МРТ) и позитронно-эмиссионной (ПЭТ) томографий, рентгенографии и рентгеноскопии и др.
- ✓ В рамках нацпроекта «Здоровье» диспансеризацию прошли свыше 17 миллионов человек и из них 10 миллионов оказались больны (при этом все обследуемые изначально считали себя здоровыми)

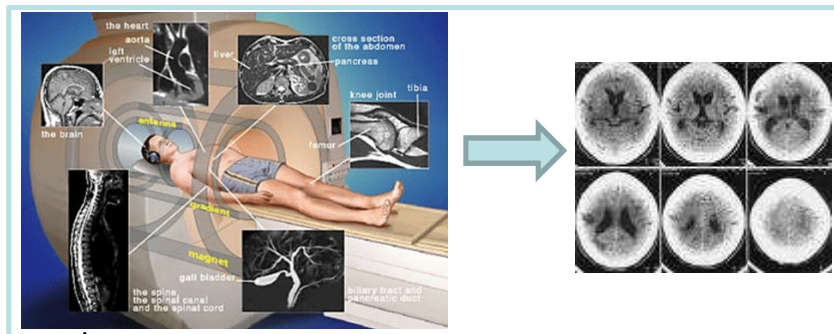
# Проблемы, на решение которых направлен проект...

- Применение **высокотехнологической медицинской диагностики** наталкивается на проблемы:
  - Острая нехватка квалифицированного медицинского персонала,
  - Ограниченность финансирования,
  - Значительные размеры территории страны и др.
- Возможное решение проблем может быть обеспечено при помощи создания федеральной телемедицинской системы нового поколения на основе **Центров передачи, хранения и анализа значительных объемов медицинской информации**



# Проблемы, на решение которых направлен проект

## Обследование пациента



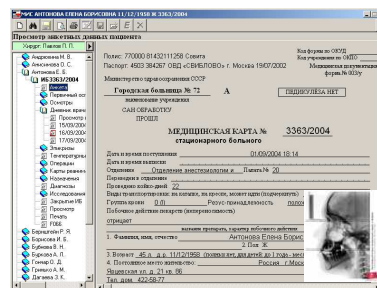
Сеть передачи данных

## Анализ данных в Центре



Обследование может быть выполнено младшим медперсоналом

## Диагноз



Анализ данных в Центре телемедицины может быть выполнен высококвалифицированным персоналом

Установление диагноза с использованием средств высокотехнологической медицинской диагностики позволит организовать адресную доставку медицинской помощи населению

## Снижение смертности не менее чем на 10% (экспертная оценка)

# Концептуальные основы проекта...

- **Базовая гипотеза проекта** – ранняя точная диагностика и профилактика заболеваний может обеспечена на основе биомедицинской информации, предоставляется методами лучевой диагностики (магнитно-резонансной, мультиспиральной компьютерной, рентгеновской, оптической когерентной томографией), ультразвуковой, функциональной, морфологической диагностики.
- Реализация такого подхода сдерживается отсутствием адекватных высокопроизводительных компьютерных **систем передачи, хранения и анализа значительных объемов биомедицинской информации**



# Концептуальные основы проекта...

В рамках проекта планируется обеспечить решение следующего спектра задач:

- Сбор и хранение в единой базе данных медицинской информации, получаемой посредством высокотехнологических приборов и устройств медицинской диагностики.
- Автоматизированная обработка биомедицинских изображений для анализа и выявления имеющихся патологических изменений.
- Обработка трехмерных биомедицинских изображений для совмещения диагностической информации, полученной в разные дни или на различных устройствах.
- Выявление пациентов со сходной клинической картиной на основе имеющихся биомедицинских данных.

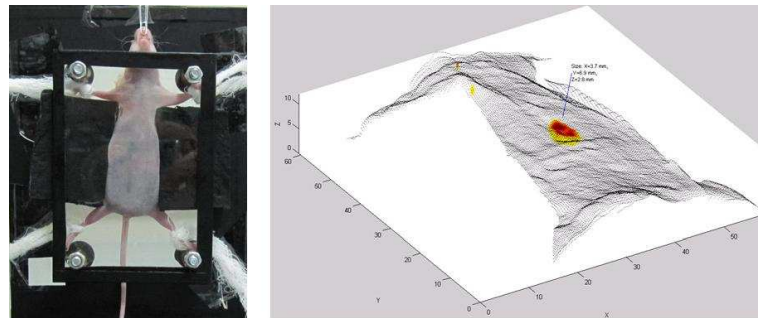
## Спектр задач...

---

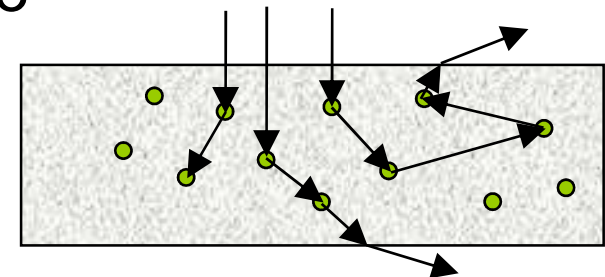
- Биоимиджинг, оптическая томография, радиационная терапия
- Молекулярная динамика для био- и наноинженерии
- Моделирование функционирования мозга и мозг-компьютерных интерфейсов
- Расчет компактных лазерных ускорителей заряженных частиц для радиационной терапии, протонографии и инерционного термоядерного синтеза

# Биоимиджинг, оптическая томография, радиационная терапия

- ❑ Расчет распространения большого числа фотонов в сильно рассеивающих средах для реконструкции их внутренней структуры



- ❑ Расчет дозы для проведения радиационной терапии
- ❑ Алгоритм расчета – Метод Монте-Карло
  - Идеальное распараллеливание (не требуется обмен данными)
  - Идеально подходит для ГПУ (эффективность близка к 100%)



# Биоимиджинг, оптическая томография, радиационная терапия

---

□ Сегодня на ПК:

расчет  $10^8$  фотонов ~ 100 TFlop ~ 1 час  
(только простейшие модельные случаи)

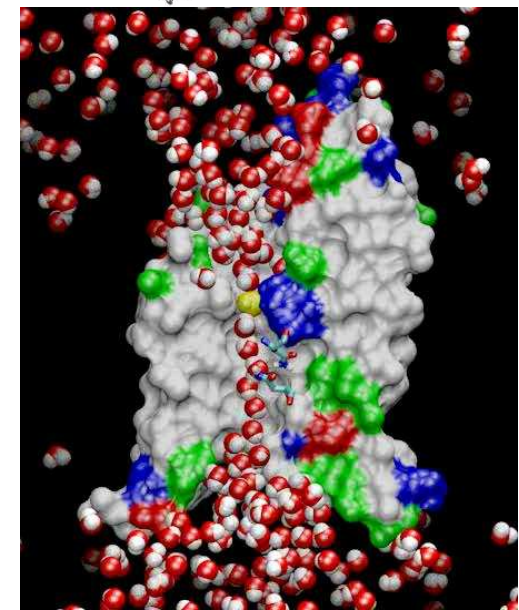
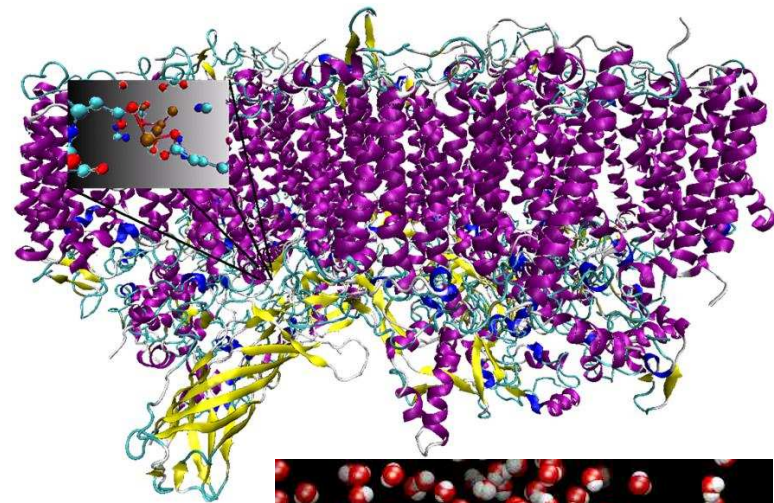
□ Суперкомпьютер 1 PFlops:

расчет  $10^{11}$  фотонов ~ 100 PFlop ~ 2 мин  
(применение для реальных задач)

Реконструкция внутренней структуры сильно  
рассеивающей среды для реальных размеров в  
режиме реального времени!

# Молекулярная динамика для био- и нано-инженерии

- Исследование молекулярных механизмов функционирования биологических молекул
  - фотосинтез
  - синтез биомолекул
  - генная регуляция
  
- Био- и нано-инженерия
  - самосборка биомолекул
  - регенерация живых тканей
  - сборка наноразмерных молекулярных структур



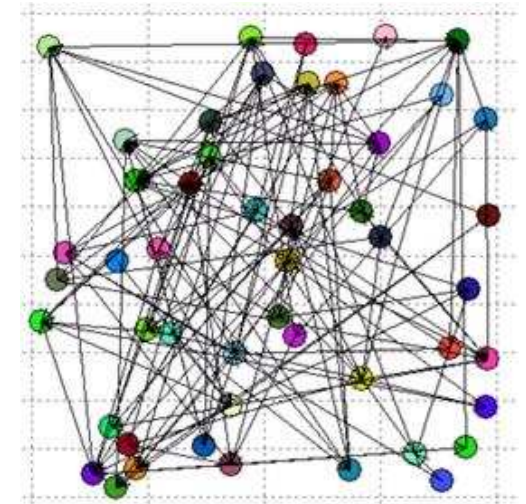
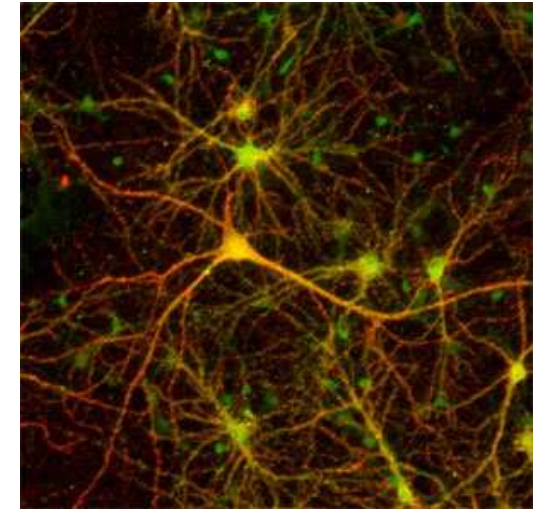
# Молекулярная динамика для био- и нано-инженерии

- Метод расчёта – классическая динамика атомов с блискодействующими взаимодействиями
  - можно эффективно распараллеливать (низкая интенсивность обмена данными за счет блискодействия)
  - высокая степень применимости ГПУ
- Характерные значения (сегодня):
  - до 100 тыс. атомов ~ 10 PFlop
- Возможности с суперкомпьютером 1 PFlops:
  - число атомов до 10 млн. ~ 1000 PFlop ~ 1 час
  - более реальные (квантовые) модели взаимодействия

Возможность получения передовых результатов

# Моделирование функционирования мозга и мозг-компьютерных интерфейсов

- ❑ Моделирование функционирования нейронных сетей (совокупности нейронных клеток соединённых синаптическими связями) позволяет интерпретировать экспериментальные данные, служит источником идей для разработки алгоритмов и систем искусственного интеллекта
- ❑ Алгоритм расчета
  - метод Рунге-Кутты для модельных систем обыкновенных дифференциальных уравнений (нейроны)
  - распространение импульсов по связям
  - модель эволюции связей
- ❑ Алгоритм может быть эффективно распараллелен при использовании специальных алгоритмических решений, снижающих интенсивность обмена данными и частоту обращений к памяти



# Моделирование функционирования мозга и мозг-компьютерных интерфейсов

- Возможности на ПК
  - до 1000 нейронов (из-за малого числа нейронов не проявляются важнейшие эффекты)
- Возможности с суперкомпьютером 1 PFlops:
  - динамика до 1 млн. нейронов (фрагмент 1 мм<sup>3</sup>)  
**в реальном времени!**

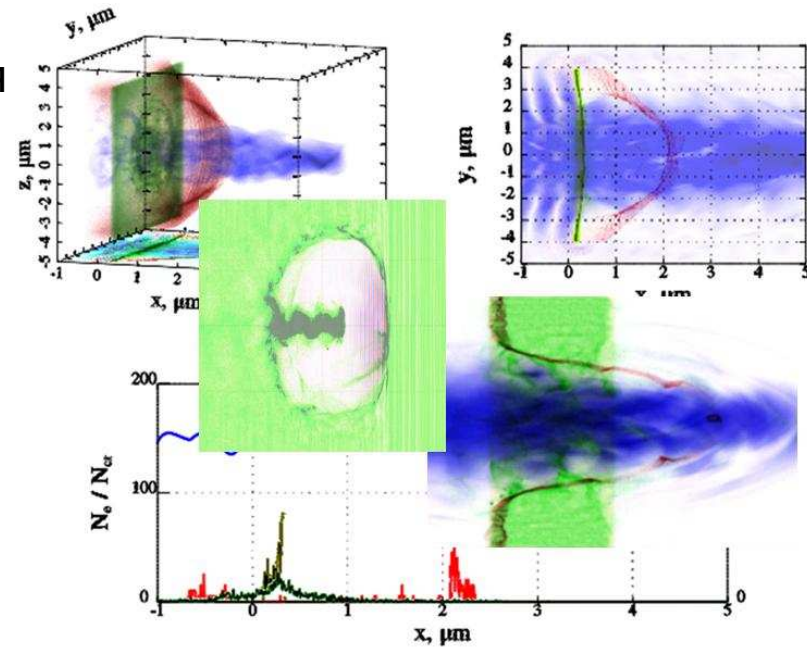
**Беспрецедентная возможность исследовать полноценное взаимодействие компьютерного и природного мозга в реальном времени!**

Европейский  
проект  
**Blue Brain**  
1 мм<sup>3</sup> : 1 PFlops  
В реальном  
времени!



# Компактные лазерные ускорители

- Исследования процессов взаимодействия предельно коротких лазерных импульсов релятивистской интенсивности с твердотельными мишенями в контексте поиска принципиальных концепций и оптимизации параметров для генерации протонных пучков с энергией порядка 100 МэВ – 1 ГэВ
- Важнейшие применения для адронной терапии, протонографии и инерционного термоядерного синтеза
- Алгоритм – расчет эволюции электромагнитного поля методом конечных разностей + расчет релятивистских уравнений движений «крупных» частиц



В ИПФ РАН ведутся передовые исследования с использованием мощнейших российских и зарубежных суперкомпьютеров

# Компактные лазерные ускорители

- Алгоритм может быть эффективно распараллелен при использовании специальных алгоритмических решений, снижающих интенсивность обмена данными и частоту обращений к памяти
- Возможности на суперкомпьютерах 10 TFlops (сегодня):  
1 млрд. ячеек поля, 10 млрд. частиц ~ 5000 PFlop ~ 1 неделя
- Возможности на суперкомпьютере 1 PFlops:  
1 млрд. ячеек поля, 10 млрд. частиц ~ 5000 PFlop ~ 1 час

**Эффективное исследование и проектирование реальных твердотельных мишеней в трехмерной геометрии!**

# Анализ предметной области

---

- Вычисления могут быть разделены (распараллелены) на большое количество вычислительных блоков
- Вычислительные блоки обладают низкой информационной зависимостью (т.е. могут быть выполнены на вычислительных устройствах с распределенной памятью)
- Объем данных вычислительных блоков достаточно ограничен

## Выбор графических процессоров в качестве основных вычислителей

- Выделенная специфика вычислений предметной области (низкая информационная зависимость, ограниченность объема обрабатываемых данных) позволяют выбрать в качестве основных вычислителей **графические процессорные устройства (ГПУ)**, которые
    - Содержат большое количество вычислительных ядер,
    - Имеют на вычислительных ядрах локальную память небольшого размера,
    - Ориентированы на вычисления, в которых обмен данными между ядрами ограничен
- ⇒ ***ГПУ в максимальной степени соответствуют характеру вычислений предметной области***

# Концептуальные основы проекта...

- Ключевым элементом всей создаваемой телемедицинской сети являются суперкомпьютеры с новой архитектурой, наиболее адекватной характеру решаемых задач, а именно, **суперкомпьютеры на базе новейших высокопроизводительных графических процессоров.**
- Достижимость целей проекта обеспечивают разработки и практический опыт российских ученых в области стратегических информационных технологий и технологий, применяемых для создания инновационного биоимиджингового оборудования.

# Концептуальные основы проекта

- **Максимально-возможное использование биомедицинской информации** в форме 3D и стерео изображений, получаемых с помощью различных средств высокотехнологической медицинской диагностики,
- **Разноуровневость системы обработки данных** с основным объемом работ в региональных или окружных телемедицинских центрах, оснащенных высокопроизводительными компьютерами,
- **Мультикластерность** по наиболее актуальным для России направлениям медицины (онкология, кардиология, травматология, скрининг),
- **Ориентированность на освоение производства** отечественных высокотехнологичных импортозамещающих продуктов и услуг.

# Цели проекта

---

- Повышение качества и эффективности медицинской помощи населению и системы профессионального образования медицинских кадров
- Создания межрегиональной телемедицинской сети на основе применения современных технологий сбора, передачи, обработки, поиска и хранения информации для решения широкого круга медицинских задач

# Основные направления работ...

## Медицина

- Разработка системы телемедицины нового поколения на основе высокопроизводительных *Центров передачи, хранения и анализа значительных объемов медицинской информации.*
- Разработка диагностических алгоритмов построения диагнозов по данным высокотехнологических средств медицинской диагностики.
- Выполнение пилотных подпроектов в области кардиологии, онкологии, травматологии, программ профилактики и оздоровления населения, реабилитации) и др.



# Основные направления работ...

## Информационные технологии

- Создание компьютерных систем с предельно-достижимыми на данный момент времени характеристиками для формирования единой базы медицинских данных.
- Разработка алгоритмов и программ сбора, визуализации, поиска, передачи, сжатия, хранения медицинской информации,.
- Разработка программного обеспечения для решения широкого спектра прикладных медицинских задач  
и др.

# Основные направления работ...

## Промышленное производство

- Освоение технологий и организация производства импортозамещающего, прежде всего, диагностического медицинского оборудования конкурентоспособного на внутреннем и мировом рынке в количествах достаточных для оснащения медицинских учреждений страны, входящих в создаваемую телемедицинскую сеть.
- Освоение производства мобильных телемедицинских комплексов  
и др.

# Основные направления работ

## Образование

- Создание системы обучения медицинских и инженерных кадров работе с телемедицинскими технологиями.
- Разработка концепции дистанционного образования на основе использования многоточечных видеосерверов с возможностью передачи больших объёмов медицинских данных.
- Разработка экспертных, учебных, тестирующих медицинских систем  
и др.

# План реализации проекта...

---

Для реализация проекта предлагается трехэтапная схема выполнения работ:

- I этап – «**Модель**» (2011- 2012);
- II этап – «**Регион**» (2012- 2013);
- III этап - «**Россия**» (2013- 2016).

# План реализации проекта...

## I этап – «Модель» (2011- 2012)...

**Цель** – создать действующий макет центра хранения и обработки медицинских данных на основе использования отечественного суперкомпьютера производительностью 30-50 Терафлопс и Медицинского консультативно-методического мультикластера, созданного на базе трех специализированных медицинских учреждений Нижнего Новгорода кардиологического, онкологического и травматологического профилей.

# План реализации проекта...

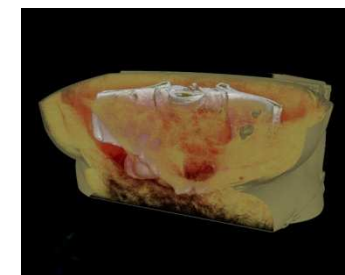
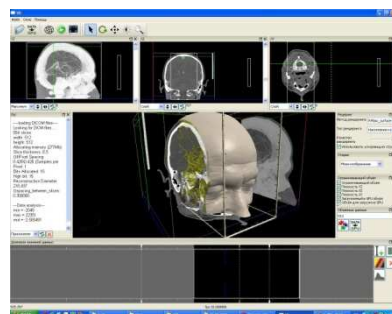
## I этап – «Модель» (2011- 2012) – Ожидаемые результаты

- Создан макет центра передачи, хранения и анализа биомедицинской информации.
- Разработаны тематические медицинские базы данных.
- Разработано и прошло опытную эксплуатацию ПО эффективной передачи большеформатных графических документов и 3D изображений и автоматизации принятия решений в задачах медицинской диагностики
- Создана модель мультикластерного здравоохранения на базе трех специализированных медицинских учреждений Нижнего Новгорода кардиологического, онкологического и травматологического профилей и др.

# План реализации проекта...

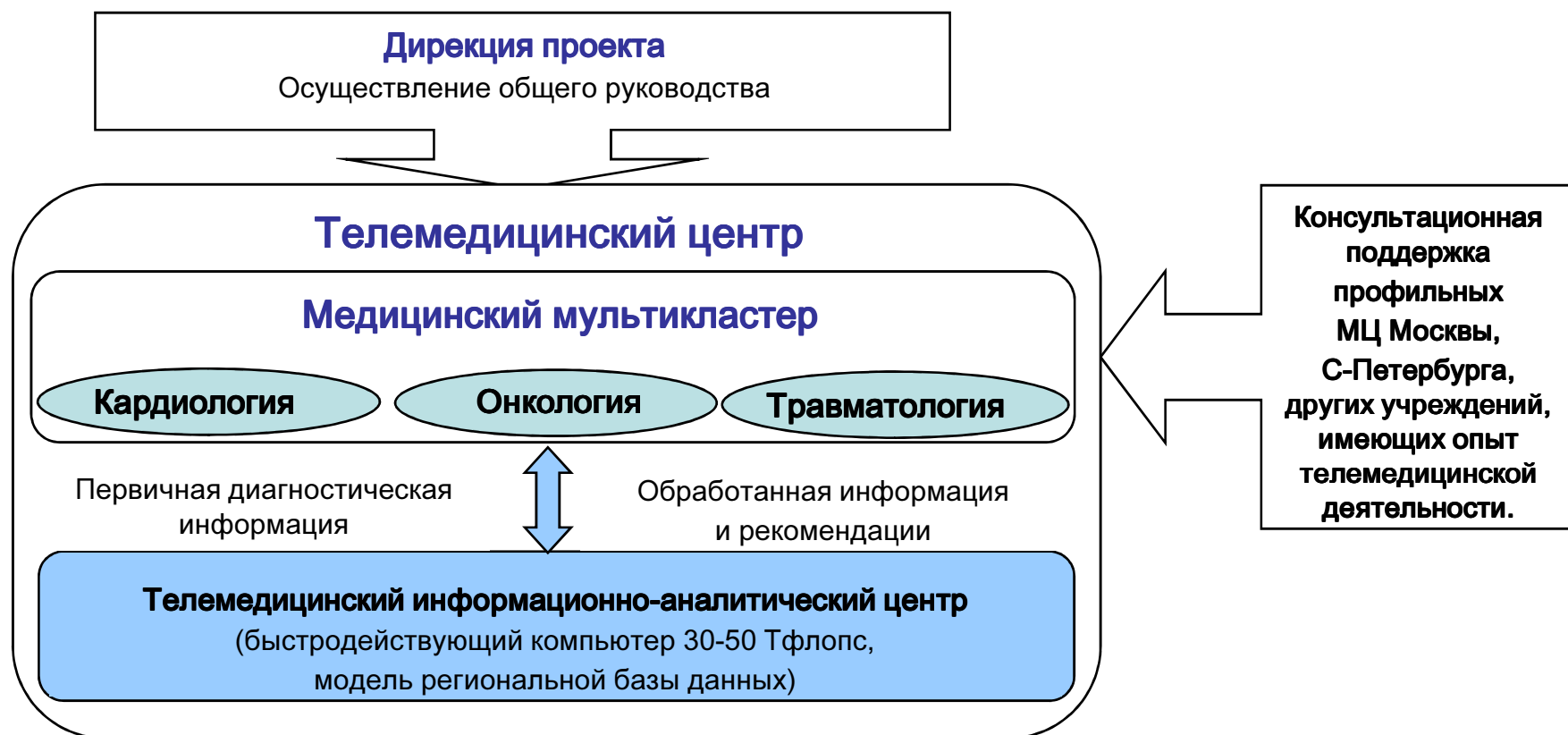
## I этап – «Модель» (2011- 2012)...

□ Одним из значимых результатов данного этапа проекта будет создание аппаратно-программного комплекса «**Виртуальный томограф**», обеспечивающего мультимодальную 3D и стереовизуализацию биомедицинских данных, полученных от разных средств медицинской диагностики.



# План реализации проекта...

## I этап – «Модель» (2011- 2012) – Макет системы





# План реализации проекта...

## II этап – «Регион» (2012- 2013)...

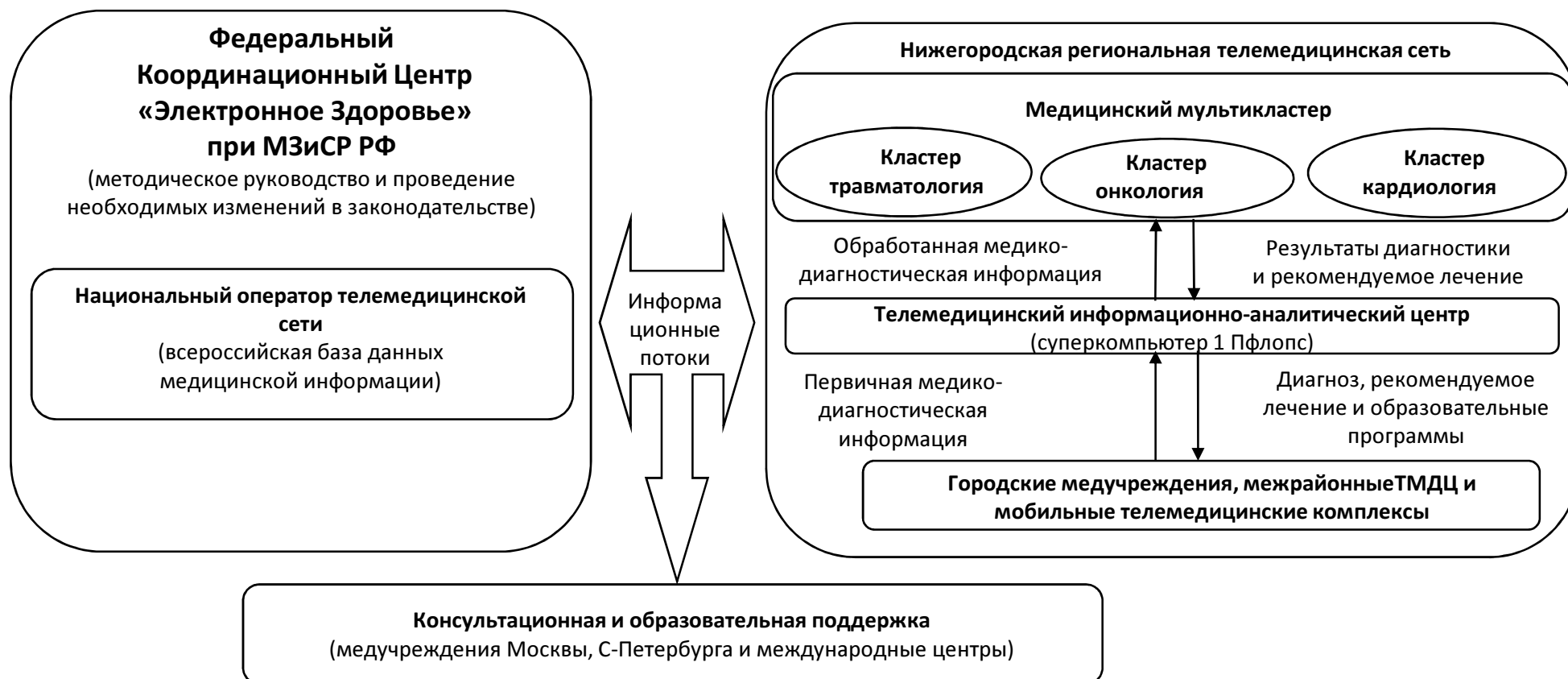
Цель – создание Федерального Координационного Центра.

На данном этапе будут созданы:

- Федеральный Координационный Центр.
- Пилотная региональная телемедицинская сеть (РТМС) с региональным телемедицинским информационно-аналитическим центром (РТМИАЦ).
- Пять межрайонных телемедицинских диагностических центров (МРТМДЦ).

# План реализации проекта...

## II этап – «Регион» (2012- 2013) – Региональный уровень



# План реализации проекта...

## III этап - «Россия» (2013- 2016)...

**Цель** – создание федеральной консультационно-диагностической и образовательной сети.

**На третьем этапе проекта создается четырёхуровневая сеть, включающей:**

- координационный телемедицинский центр

Минздравсоцразвития;

- окружные телемедицинские центры в столицах каждого федерального округа;

- региональные телемедицинские центры, расположенные в ведущих медицинских учреждениях субъектов федерации;

- межрайонные телемедицинские диагностические центры в ряде центральных районных больниц субъектов федерации.

# План реализации проекта

III этап - «Россия» (2013- 2016) – Федеральный уровень



# Значимость проекта

Проект обладает **высокой социальной значимостью**, так как его реализация позволит:

- Содействовать увеличению эффективности отечественного здравоохранения, прежде всего, в наиболее неблагополучных для России медицинских сферах.
- Дать необходимый импульс развитию сразу нескольких отраслей отечественной промышленности.
- Способствовать максимальному вовлечению интеллектуального потенциала страны в процесс производства высокотехнологичных продуктов и оказания услуг.
- Занять России достойное место в мире в области стратегических информационных технологий.
- Сократить отток валютных средств, увеличить внутренний оборотный капитал страны и объем поступлений в бюджеты всех уровней.

---

## Контакты:

Гергель Виктор Павлович

[gergel@unn.ru](mailto:gergel@unn.ru)

Сергеев Александр Михайлович

[ams@ufr.appl.sci-nnov.ru](mailto:ams@ufr.appl.sci-nnov.ru)