

некоторых больных ревматоидным артритом установлено снижение данного показателя примерно в 2 раза.

### Заключение

Согласно данным, полученным в ходе исследования, можно предположить, что при системных заболеваниях, в частности, при ревматоидном артрите, происходят изменения структуры и свойств биологических мембран клеток организма, прежде всего их вязкостных характеристиках, что отражается на структурно-функциональном состоянии плазматических мембран клеток.

Предполагается, что применение аэрокриотермического воздействия на фоне традиционного комплексного лечения, определяющегося индивидуальными особенностями и течением основного и сопутствующих заболеваний, способствует активации коррекции соматоформных вегетативных дисфункций. Это, в свою очередь, по-видимому, способствует активации в организме пациентов адаптивных перестроек, регуляторных, пластических и метаболических процессов.

### Список литературы

1. Алехин, А.И. Аэрокриотерапия в современной медицине / Алехин А. И., Денисов Л. Н., Исаев Л. Р. и др. – М., 2002. – 287 с.
2. Клинические рекомендации. Ревматология/ под. ред. Е. Л. Насонова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. – 288 с.
3. Насонов, Е.Л. Современные стандарты фармакотерапии ревматоидного артрита / Насонов Е. Л., Каратеев Д. Е., Чичасова Н. В., Чемерис Н. А. // Клиническая фармакология и терапия. □ 2005. – Т. 14. – № 1. – С. 72–75.
4. Лимфоциты: Методы: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Клауса. – М.: Мир, 1990. – 400 с.
5. Добрецов, Г.Е. Флуоресцентные зонды в исследовании биологических мембран / Добрецов Г.Е., Владимиров Ю.А. М.: Наука – 1980. – 320 с.
6. Рокицкий, П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. — Мн.: Высшая школа, 1973. — 320 с.

УДК [575./2 316:599.9]:57.087

## ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ «ХРОМОСОМА», «ХРОМОСОМА-FISH» ДЛЯ МАССОВЫХ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ НАСЕЛЕНИЯ В ПОСТ-ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ПЕРИОД

В.И.ИВАНОВ, Н.И.ИВАНОВ, А.Н.ЛАЗАРЧИК

*Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»  
Белорусского государственного университета  
Бобруйская, 11, Минск, 220030, Беларусь*

*Поступила в редакцию*

**Аннотация.** Приведены результаты разработки и исследования оптико-электронных компьютерных комплексов «Хромосома», «Хромосома-FISH» для массовых цитогенетических обследований населения в пост-чернобыльский период.

**Ключевые слова:** цитогенетика, кариотип, хромосомные aberrации, массовые цитогенетические обследования, комплексы «Хромосома».

**Abstract.** The results of the development and research of optoelectronic computer complexes "Chromosome", "Chromosome-FISH" for mass cytogenetic surveys of the population in the post-Chernobyl period.

**Keywords:** cytogenetics, karyotype, chromosomal aberrations, mass cytogenetic surveys, complexes «Chromosome».

### Введение

В настоящее время общепризнанным фактом является то, что хроническое воздействие на население низкодозовой радиации, обусловленной последствиями различного рода ядерных взрывов и техногенных катастроф, является причиной формирования генетической нестабильности, которая ведет не только к новообразованиям, но может быть также ответственна и за ряд ее отдаленных феноменов, реализующихся на организменном уровне [1-3]. Процессы малигнизации клеток и дальнейшей опухолевой прогрессии тесно связаны с реорганизацией генома, что во множестве случаев выражается структурными и численными aberrациями хромосом, изменениями их отдельных областей (транслокациями), появлением клеточных клонов. В этой связи задача объективной оценки и прогноза цитогенетических изменений у населения, проживающего на экологически неблагоприятных территориях, и в особенности на территориях, пострадавших от чернобыльской катастрофы, является чрезвычайно важной и требует проведения регулярных массовых цитогенетических обследований населения на популяционном уровне.

Сложность решения данной задачи во многом обусловлена тем, что для достоверного выявления начальных стадий хромосомных болезней диагностическое заключение должно приниматься по большому числу проанализированных метафазных пластинок хромосомных препаратов (более 1 – 2 тысяч на одного пациента), что невозможно осуществить без применения специальных программно-аппаратных комплексов с компьютерной обработкой цитогенетической информации [4]. В рамках данного направления нами выполнен цикл работ по исследованию и разработке таких систем, их клинической апробации и медицинской сертификации. Созданные комплексы «Хромосома», «Хромосома – FISH» для массовых цитогенетических обследований населения разрешены к применению в медицинской практике Министерством здравоохранения Республики Беларусь [5,6].

#### Область применения и решаемые задачи

Комплексы «Хромосома» представляют собой многофункциональную программно – аппаратную платформу для автоматизированного анализа биологических препаратов с использованием оптических микроскопов рис.1 и компьютерного двухкоординатного сканера рис.2 , обеспечивающих сканирование и оцифровку изображений биопрепаратов на стеклах и чипах в ультрафиолетовом и видимом диапазонах. Шаг позиционирования сканера по  $x$ ,  $y$  координатам в предметной плоскости 0.25мкм.

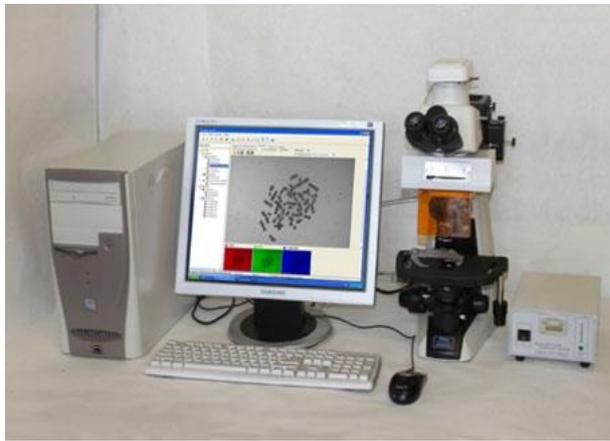


Рис. 1. Аппаратная конфигурация комплекса «ХРОМОСОМА» с оптическим микроскопом



Рис. 2. Двухкоординатный компьютеризированный сканер комплекса «ХРОМОСОМА»

Различие комплексов «Хромосома» и «Хромосома-FISH» состоит в том, что первый из них реализует принцип классического (рутинного) анализа нестабильных хромосомных aberrаций на основе оценки морфологических параметров хромосом [7], а второй обеспечивает возможность анализа как нестабильных хромосомных aberrаций, так и стабильных (преимущественно транслокаций) на молекулярном уровне методом флуоресцентной *in situ* гибридизации (FISH-метод) [8, 9].

Общий принцип работы приборов основан на оптико-электронной съемке микроизображений биопрепаратов (гистологических, цитогенетических, включая препараты с ДНК - маркерами) с использованием высокоразрешающих цифровых камер (3.5 – 18 Мегапиксел) и их последующей компьютерной обработки. Многофункциональность комплексов обуславливает возможность их широкого применения в следующих областях:

**1. Гистология и цитология** – анализ морфологической структуры гистологических и цитологических препаратов с целью выявления доброкачественных и злокачественных поражений ткани.

**2. Цитогенетика** – анализ кариотипа человека (биологический портрет вида) для выявления изолированных и множественных врожденных пороков развития, пренатальная цитогенетика – кариотипирование плодов человека на ранних стадиях эмбриогенеза с целью диагностики хромосомных болезней; цитогенетика эмбрионального развития человека – изучение

функциональной активности отдельных хромосом или их сегментов и их влияния на процесс эмбриогенеза.

**3. Онкоцитогенетика** – исследования корреляций онкологического процесса с хромосомными aberrациями в опухолевых клетках, включая исследования на молекулярном уровне с использованием флуоресцентных ДНК – маркеров (FISH – анализ).

**4. Радиационная медицина** – автоматизированное выявление и анализ специфических хромосомных aberrаций – маркеров радиационного воздействия, ретроспективное определение поглощенной человеком биологической дозы радиоактивного излучения.

#### Базовые программно - аппаратные функции комплексов

Компьютерные алгоритмы комплексов обеспечивают ввод, редактирование и архивирование электронных цифровых изображений биологических препаратов, создание компьютерной базы патологий и коллекций исходных изображений биопрепаратов; автоматизацию измерения морфологических параметров и классификацию объектов биопрепаратов (длин, площадей, периметров, определение числа объектов по заданным дифференциальным признакам – размерам, цвету и т.п.); расчет статистических параметров по каждому классу выделенных объектов, построение цифровых идиограмм хромосом.

По результатам метрологической аттестации приборов, проведенной Белорусским государственным институтом метрологии, погрешность автоматического определения линейных размеров биологических объектов не более 1 мкм.

На рис. 3 приведен пример оцифрованного фрагмента (метафазной пластинки) хромосомного препарата; на рис.4 – цифровая идиограмма хромосомы.

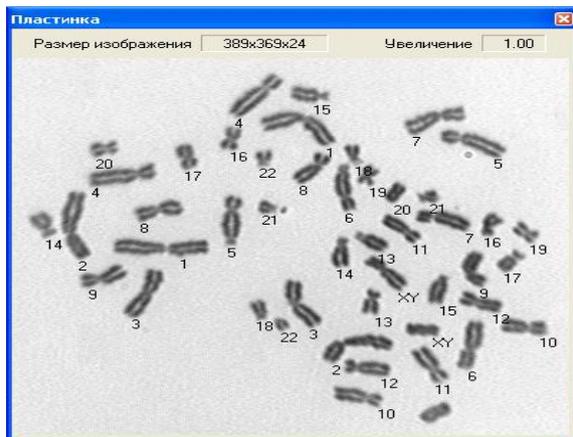


Рис. 3. Оцифрованная метафазная пластинка хромосомного препарата

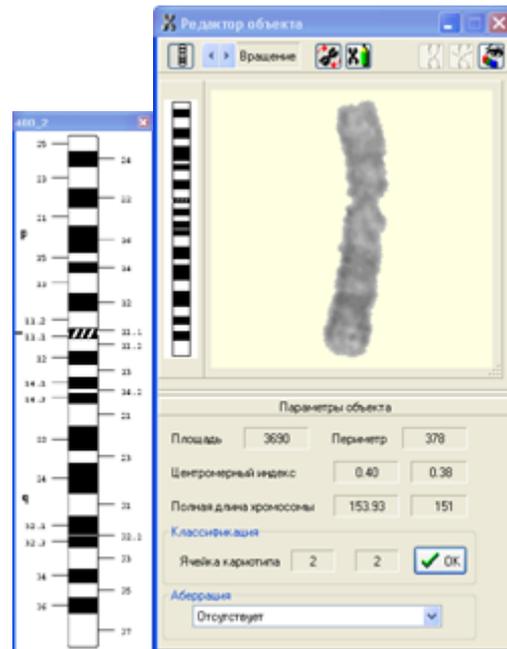


Рис. 4. Цифровая идиограмма хромосомы

В режиме FISH – диагностики обеспечивается ввод и обработка ряда разноспектральных изображений препаратов с флуоресцентно мечеными ДНК маркерами (зондами) онкологических процессов в ультрафиолетовом диапазоне. Осуществляется три метода суммирования разноспектральных изображений для получения результирующего изображения: простое суммирование, суммирование фрагментов и наложение фрагментов в результирующем изображении; возможность независимой регулировки параметров всех разноспектральных изображений: яркости, контраста, четкости и т.д.; выбор произвольного цвета для псевдоокраски исходных изображений; обеспечивается стабилизация результирующих изображений с

автоматической и ручной коррекцией сдвига исходных изображений, неизбежных при сканировании и переключении оптических фильтров.

На рис. 5 приведен пример обнаружения онкологической трансформации клеток методом FISH – анализа с использованием ДНК-зонда типа HERR-2.

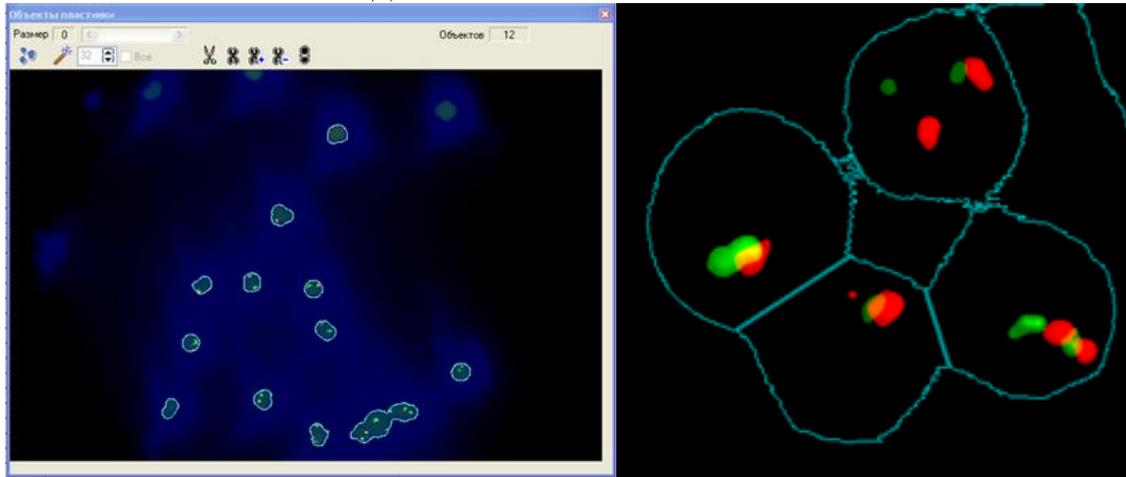


Рис. 5. Суммарное изображение микроядер клеток с транслокацией гена (трехцветный FISH с флуоресцентной ДНК – зондом типа HERR-2)

### Результаты и их обсуждение

На рис. 6 приведены результаты установочного цитогенетического мониторинга населения Республики Беларусь комплексами «Хромосома». Результаты получены совместно с Гомельским РНПЦ радиационной медицины и экологии человека Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

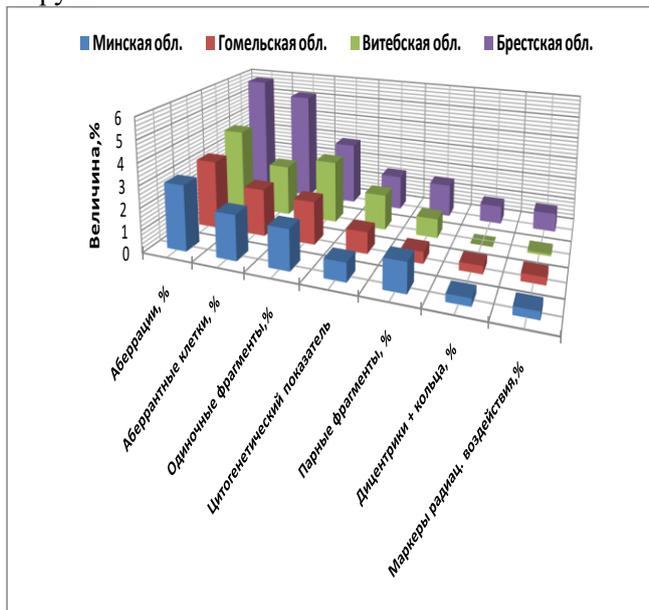


Рис. 6. Результаты цитогенетического мониторинга населения РБ

Полученные результаты отражают состояние цитогенетический статуса населения в пост-чернобыльский период и свидетельствуют о его ухудшении у населения, проживающего на наиболее пострадавших от чернобыльской катастрофы территориях (Гомельская и Брестская области). Наиболее высоким цитогенетическим статусом на момент обследования обладало население Витебской области.

Для выявления цитогенетических нарушений на ранних стадиях в комплексах «Хромосома» обеспечивается автоматическая классификация и дефектация хромосом, обнаружение и анализ кольцевых и дицентрических хромосом - маркеров радиационного воздействия, статистический анализ результатов и принятие диагностического решения по множеству анализов более 1000 с

установление корреляционно - статистических взаимосвязей цитогенетического статуса индивидуума с общим состоянием организма и экологией территорий проживания.

Комплексы «Хромосома» и «Хромосома – FISH» сертифицированы и разрешены к применению в медицинской практике Министерством здравоохранения Республики Беларусь [6], удостоены Золотой медали на Санкт – Петербургской выставке – конгрессе в 2016 году. На базе шести комплексов «Хромосома», «Хромосома-FISCH» создана сеть компьютерного цитогенетического мониторинга в Республике Беларусь.

#### Заключение

Созданные компьютерные цитогенетические комплексы «Хромосома» позволяют осуществлять массовый цитогенетический мониторинг населения на популяционном уровне, оперативно верифицировать индивидуальные и коллективные дозы лучевых нагрузок, выявлять генотоксичные территории и проследивать территориально - временную динамику цитогенетических изменений, обнаруживать появление клонов клеток с хромосомными aberrациями – маркерами возможной опухолевой трансформации, выявлять категории населения цитогенетического и онкологического рисков, прогнозировать возможные отдаленные медико-генетические последствия хронического воздействия малых доз радиации и антропогенных канцерогенных факторов на организм человека в пост-чернобыльский период.

#### Список литературы

1. Мельнов С.Б., Иванов В.И., Семерихина С.Е. и др. // Достижения медицинской науки Беларусь. 2003. №8. С.16-18.
2. Bonassi S., Hagmar L., Strömberg U. et al. // Cancer Res. 2000. Vol.60. P.1619-1625.
3. Hagmar L., Brogger A., Hansteen I.-L. et al. // Cancer Res. 1994. Vol.54. P.2919-2922.
4. Иванов В.И., Лазарчик А.Н. // Фундаментальные и прикладные физические исследования. под ред. В.Г.Барышевского. Минск. БГУ. 2009. С. 379-391.
5. Иванов В.И., Иванов Н.И., Лазарчик А.Н. // Инновационные технологии в медицине. ГКНТ Республики Беларусь. Минск. 2015. С. 37.
6. Комплекс для компьютерной морфометрической, цитогенетической и FISH - диагностики «Хромосома». Регистрационное удостоверение Минздрава РБ № ИМ-7.971,59.
7. Хроменкова О.Б. Морфология хромосом. Кариотип человека. Харьков. ХНГМУ.2012. 16с.
8. Bauchinger M., Schmid E., Zitzelsberger Y. et al. // Int. J. Radiat. Biol. 1993. Vol.64. P.179-184.
9. Lucas J.N., Sach R.K. //Cell. Biologi. 1993. Vol. 90. P.1484-1487.

УДК 551.583

## НОВЫЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА

С.А. ЛЫСЕНКО, С.Л. ОЩЕПКОВ

*Институт природопользования НАН Беларуси,  
ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Описываются разработанные авторами аэрокосмические методы исследования атмосферы, гидросферы и биосферы, включая мониторинг аэрозольно-газовых примесей атмосферы, биоклиматических параметров наземных экосистем (широкополосного альbedo, листового индекса, проективного покрытия, температуры, излучательной способности, эффективности поглощения фотосинтетически активной радиации и т. д.), составляющих энергетического баланса подстилающей поверхности, аэрозольного радиационного форсинга, содержания фитопланктона, взвесей и растворенных органических веществ в водоемах.

**Ключевые слова:** экология, климат, биоклиматические параметры, аэрозоль, атмосферная радиация.

**Abstract.** We have developed new retrieval methods for studying the atmosphere, hydrosphere and biosphere, using space-born monitoring of atmospheric aerosol and gas components, bioclimatic parameters of the terrestrial ecosystems (broadband albedo, sheet index, projective cover, temperature, emissivity, absorption efficiency of photo synthetically active radiation, etc.), components of the energy balance of the ground surface, aerosol radiation forcing, phytoplankton content, suspended solids and dissolved organic matter in water bodies.

**Keywords:** ecology, climate, bioclimatic parameters, aerosol, atmospheric radiation..

#### Введение

Для выработки эффективных мер по снижению негативных последствий изменений климата и адаптации к ним погодозависимых отраслей экономики любого государства необходимо детальное изучение его климатических ресурсов и заблаговременное предоставление информации об ожидаемых климатических условиях на его территории. В этой связи повышенные требования