

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ В НАУЧНОЙ И УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АГРАРНЫХ ВУЗОВ

Н.К. Толочко, докт. физ.-мат. наук, профессор, А.А. Андрушевич, канд. тех. наук, доцент, П.С. Чугаев, аспирант, К.Л. Сергеев, аспирант (БГАТУ)

### Аннотация

*Рассмотрены функциональные возможности компьютерных микроскопов и перспективы применения компьютерной микроскопии в научной и учебной деятельности аграрных вузов.*

*The functionalities of computer microscopes have been considered. The perspectives in computer microscopy applied to educational and scientific activities of agrarian universities have been discussed.*

### Введение

Компьютерная микроскопия представляет собой новое направление в информационно-измерительной технике, интенсивно развивающееся с конца 90-х годов XX века [1]. Ее появление связано с широким распространением информационных технологий, в результате чего потребовалась разработка усовершенствованных подходов к организации микроскопических исследований, что в первую очередь обусловлено необходимостью осуществления количественной и статистической обработки информации, получаемой с помощью микроскопа.

Компьютерная микроскопия широко применяется в различных отраслях науки, техники и производства, в медицине, охране окружающей среды. В последние годы она широко внедряется в сферу высшего образования.

Основные направления применения компьютерной микроскопии в научной и учебной деятельности вузов в значительной мере определяются тематикой выполняемых научных исследований и профилем подготовки специалистов. В настоящее время компьютерная микроскопия получила распространение в основном в вузах, осуществляющих научную и учебную деятельность в области медицины и биологии, а также материаловедения и технологии материалов. В данной статье рассмотрены перспективы применения компьютерной микроскопии в научной и учебной деятельности аграрных вузов с учетом специфики этой деятельности и функциональных возможностей компьютерных микроскопов.

### Основная часть

#### Функциональные возможности компьютерных микроскопов

Компьютерные микроскопы (их также называют цифровыми микроскопами, видеомикроскопами, автоматизированными анализаторами изображения) представляют собой аппаратно-программные комплексы,

обычно создаваемые на основе серийно выпускаемых оптических микроскопов, в которые встраиваются цифровые видеокамеры, связанные с персональными компьютерами [1]. Микроскоп обеспечивает выбор поля наблюдения и формирует изображение в видеокамере, которая передает его в виде цифрового или телевизионного сигнала в компьютер, где оно визуализируется на дисплее и подвергается программной обработке.

Компьютерные микроскопы обладают широким спектром функциональных возможностей (табл. 1). Они позволяют получать, обрабатывать и хранить информацию о разнообразных видах изучаемых объектов, а также обеспечивают наглядное представление этой информации.

С их помощью можно получать (снимать) изображения как статичных, так и динамичных объектов (соответственно, не изменяющих или изменяющих во времени свое положение и/или состояние).

Функциональные возможности компьютерных микроскопов в значительной мере определяются типом базового оптического микроскопа, его конструкцией, техническими характеристиками, принципом работы (в отраженном или проходящем, обычном или поляризованном, видимом, ультрафиолетовом или инфракрасном свете). Компьютерные микроскопы могут оснащаться дополнительными конструктивными элементами, повышающими степень их автоматизации, улучшающими условия обслуживания и качество выполняемых работ, такими, как моторизованные драйверы фокусировки, предметные столы, узлы смены объективов и фильтров, транспортеры доставки предметных стекол на предметный стол, электронные блоки идентификации стекла по штрих-коду, управления освещением и др. [2]. Решающая роль в определении функциональных возможностей компьютерных микроскопов отводится используемым программным средствам.

Производство компьютерных микроскопов освоено в ряде стран мира, в том числе в СНГ. В Беларуси

**Таблица 1. Основные функции компьютерных микроскопов**

Получение изображений	Представление изображений объектов на дисплее компьютера в режиме реального времени (использование дисплея в качестве видеискателя перед съемкой изображения)
	Съемка изображений статичных или динамичных объектов (получение одиночных видеок кадров)
	Непрерывная съемка изображений динамичных объектов (получение видеофильмов)
Обработка изображений	Покадровая съемка изображений динамичных объектов (получение серии видеок кадров) с регулируемой частотой захвата
	Сохранение изображений (вместе с сопровождающей текстовой информацией) в базе данных компьютера
	Извлечение изображений (вместе с сопровождающей текстовой информацией) из базы данных компьютера и его вывод на дисплей; просмотр изображений на дисплее, в том числе просмотр одиночных видеок кадров; полный и покадровый просмотр видеофильмов (в прямом и обратном направлении); передача изображений в другие компьютеры; их представление на большом экране с помощью мультимедиа-проектора, распечатка на принтере
	Монтаж видеофильма с «ускоренным сюжетом» на основе изображений динамичных объектов, полученных покадровой съемкой
	Сшивка ряда изображений, снятых в различных полях наблюдения, в одно изображение высокого разрешения
	Сравнение разных изображений или разных фрагментов одного изображения по характерным признакам объектов*
	Захват части изображения: выделение части изображения, подлежащей анализу, ограничительной рамкой и удаление оставшейся за рамкой части изображения закрашиванием
	Преобразование изображений: изменение размера, яркости, контрастности, цвета; выравнивание фона; геометрические преобразования (поворот, обрезка, изменение размеров и масштаба, зеркальное отображение); морфологические преобразования (эрозия, дилатация, открытие, закрытие и т. д.)
Редактирование изображений: рисование, заливка разными цветами или шаблонами отдельных фрагментов изображения, нанесение текста, стрелок, геометрических фигур и т.д.	
Обработка изображений	Выделение объектов: выявление объектов, подлежащих анализу, по их характерным признакам* и последующее выделение выявленных объектов путем маркирования, классификации (удаления остальных объектов закрашиванием), сегментации (отделения от остальных объектов разграничительными линиями или локальным изменением фона), бинаризации (создания высококонтрастного черно-белого изображения)
Измерение параметров объектов и обработка результатов измерений	Измерение геометрических параметров объектов: размера, периметра, площади; определение фактора формы объекта
	Измерение параметров расположения объектов: расстояния между двумя объектами, угла ориентации объектов относительно заданного направления в поле наблюдения или угла взаимной ориентации объектов, в том числе оценка параллельности или перпендикулярности
	Измерение количества объектов, определение численной концентрации объектов (в том числе объектов определенного типа)
	Измерение суммарной площади объектов, определение относительной объемной концентрации объектов (в том числе объектов определенного типа)
	Выполнение измерений определенных видов: повторяемых, осуществляемых в определенной последовательности или в пределах определенных значений параметров
	Статистическая обработка данных: определение средних, максимальных и минимальных значений, построение гистограмм и графиков функций распределения
* <i>Характерные признаки объектов на изображениях: размер, форма, яркость, цвет, текстура, расположение и т.д.</i>	

производителями таких приборов являются ГНПО «Планар» (г. Минск) и ЧНПУП «Спектравтоматкомплекс» (г. Витебск). Их выпуском занимаются, как правило, фирмы, специализирующиеся в области оптического приборостроения. Большинство этих фирм создают компьютерные микроскопы путем дооснащения оптических микроскопов видеокамерами, а также другими конструктивными элементами. Исключением являются немногие фирмы, в частности NIKON (Япония) и LEICA (Германия), которые выпускают специальные модели компьютерных микроскопов без визуального канала.

Особенности конструкции и принцип действия компьютерных микроскопов можно показать на примере двух типов таких приборов (производитель – ЧНПУП «Спектравтоматкомплекс»), которые приме-

няются в научной и учебной деятельности кафедры «Технология металлов» Белорусского государственного аграрного технического университета.

Компьютерный микроскоп первого типа изготовлен на базе металлографического микроскопа МИМ-8 (предназначен для исследования объектов в отраженном свете), второго типа – на базе микроскопа Микмед-6 (предназначен для исследования объектов в проходящем свете). Оба базовых микроскопа дооснащены цифровыми видеокамерами (типа DCM 310 или DCM 320), работающими совместно с персональными компьютерами. Кроме того, они оборудованы спектральными осветителями высокого контраста типа ОС-16 ЦОМ с устройством управления режимами осветителя. Осветители позволяют подсвечивать объекты в видимом спектре, обеспечивая вы-

сокую равномерность (6 %) поля подсветки. Конструкция осветителей (освещение микрообъекта) исключает посторонние засветки (блики), что значительно улучшает качество воспроизводимого изображения. Компьютерные микроскопы обоих типов имеют высокую разрешающую способность и контрастную чувствительность, а именно: позволяют наблюдать слабоконтрастные микрообъекты на дисплее с увеличением до 3000 раз (разрешение не хуже 300 нм) и с контрастом воспроизводимого изображения не менее 80:1.

Компьютерный микроскоп первого типа (рис. 1)



Рисунок 1. Компьютерный микроскоп на базе микроскопа МИМ-8

применяется для количественного анализа микроструктуры металлов и сплавов в рамках выполнения научных исследований, а также при проведении лабораторных занятий по материаловедению, на которых студенты изучают микроизображения структур, получаемые на дисплее или демонстрируемые на большом экране с помощью мультимедиа-проектора.

Компьютерный микроскоп второго типа (рис. 2)



Рисунок 2. Компьютерный микроскоп на базе микроскопа Микмед-6

служит для количественного анализа дисперсных материалов. Примерами таких материалов, представляющих собой объекты научных исследований, в том числе проводимых в рамках выполнения дипломных проектов и магистерских диссертаций, являются отработанные смазочные масла, порошки для магнитоабразивной обработки металлических деталей, суспензии-электролиты для нанесения композиционных

упрочняющих покрытий и т.п. Измерения структурных параметров осуществляются, как правило, на копиях микроизображений, предварительно сохраненных в базе данных компьютерных микроскопов. Для определения размеров отдельных структурных элементов (частиц) или расстояний между ними на микроизображения наносятся измерительные линии, которые, соответственно, пересекают эти элементы в выбранных направлениях или соединяют их между собой. При этом автоматически фиксируются значения измеряемых размеров или расстояний. Для измерения площади отдельных структурных элементов (частиц) на микроизображения наносятся измерительные контуры этих элементов. При этом также автоматически фиксируются значения измеряемых площадей. На рис. 3 в качестве примера показано



Рисунок 3. Микроизображение агрегатов углеродных наночастиц с нанесенными измерительными линиями и измерительным контуром

микроизображение агрегатов углеродных наночастиц (дисперсная фаза суспензии) с нанесенными измерительными линиями и контуром.

Для определения объемного содержания структурных составляющих (элементов или частиц) следует обеспечить их высококонтрастное выделение на микроизображении, для чего микроизображение делается бинарным (черно-белым). Затем автоматически вычисляется относительная площадь структурных элементов в выбранном поле наблюдения (рис. 4). Таким же способом можно определять пористость

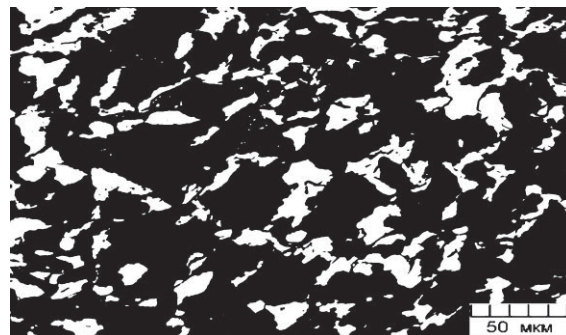


Рисунок 4. Микроструктура углеродистой дозвектоидной стали (бинарное изображение). Светлые участки – феррит, темные – перлит

твердофазных материалов, содержание в них включений или структурных фаз, а в случае суспензий – содержание дисперсной фазы.

**Компьютерная микроскопия в научной деятельности аграрных вузов**

Основные области применения компьютерной микроскопии в научной деятельности аграрных вузов связаны с тематическими направлениями проводимых в них научных исследований, которые, в свою очередь, формируются в соответствии с отраслевой структурой АПК (табл. 2).

Важной в экологическом отношении областью применения компьютерной микроскопии является анализ сточных вод на животноводческих комплексах и фермах, перерабатывающих предприятиях, а также в системах мойки агропромышленной техники на предприятиях по ее ремонту и техническому обслуживанию.

Типичными примерами применения компьютерной микроскопии в научной деятельности аграрных вузов являются: гистологические исследования, связанные с разработкой методов диагностики и лечения заболеваний животных (Волгоградский и Дальневосточный государственные аграрные университеты) [3,4]; разработка способа определения содержания жира в молоке для экспресс-оценки молочной продуктивности скота (Кубанский государственный аграрный университет) [5]; сперматологические исследования, связанные с изучением степени влияния условий содержания коров на их продуктивные качества и клинико-физиологические показатели организма (Гродненский государственный аграрный университет) [6].

Следует особо отметить перспективы использования компьютерной микроскопии, обусловленные ее возможностью наблюдать поведение различных объектов на дисплее в реальном времени (проводить исследование in situ), а также осуществлять их после-

дующее рассмотрение при работе в режиме «стоп-кадр». Благодаря этому можно глубже изучить особенности различных процессов, устанавливать их кинетические закономерности, а также проводить экспресс-анализ влияния различных факторов на характер их протекания. Так, с помощью компьютерного микроскопа можно исследовать кинетику роста корней растений и прорастания семян [7]. Также, используя компьютерный микроскоп, можно изучать кинетику роста биологических клеток, внутриклеточных процессов, межклеточных взаимодействий, ферментативных процессов в клетках, реакций клеток на действие физических факторов, инъекций фармацевтических препаратов и генетического материала (клонирование клеток) и др. [8]. Аналогично, с помощью компьютерного микроскопа можно исследовать кинетику процессов коррозии металлов [9], развития трещин в металлоконструкциях под действием механических нагрузок [10, 11], микроструктуру конструкционных сталей для рабочих органов сельскохозяйственной техники после термической упрочняющей обработки [12].

**Компьютерная микроскопия в учебной деятельности аграрных вузов**

В настоящее время компьютерная микроскопия получила довольно широкое распространение в учебной деятельности вузов, связанной в основном с подготовкой специалистов в области биологии и медицины, о чем, в частности, свидетельствует опыт ее применения в российских вузах. Так, компьютерные микроскопы используются в Санкт-Петербургском государственном медицинском университете для демонстрации изображений гистологических препаратов при проведении лабораторных занятий по морфометрии в гистологии и патологической анатомии; в Санкт-Петербургской медицинской академии последиплом-

**Таблица 2. Применение компьютерной микроскопии при проведении научных исследований в сфере АПК**

Отрасли АПК	Виды исследований (контрольно-аналитических работ)
Растениеводство	Исследование клеточного и внутриклеточного строения тканей растений, в том числе семян.
	Анализ почв: определение порозности (пористости), гранулометрического состава, содержания минералогических составляющих.
Животноводство и ветеринария	Исследование клеточного и внутриклеточного состава биологических жидкостей (крови, мочи, спермы, ликвора, желчи), кала, соскобов и срезов тканей животных, а также исследование наличия микроорганизмов и паразитов у животных
Переработка сельскохозяйственной продукции, включая производство пищевых продуктов и кормов	Контроль качества пищевых продуктов, проверка их натуральности, сравнение характеристик пищевых продуктов разных производителей, в частности, контроль качества молока (исследование дисперсного состава молочного жира, агрегативной устойчивости жировых эмульсий); мяса (исследование наличия микроорганизмов, степени распада мышечной ткани); крахмала (определение размера и формы крахмальных зерен) и т.п.
	Контроль качества кормов, в том числе установление их засоренности, степени поражения грибковыми микроорганизмами и вредителями
Производство и ремонт автотракторной и сельскохозяйственной техники	Исследование микроструктуры конструкционных материалов (определение размера кристаллических зерен, размера и относительного содержания пор, включений, структурных составляющих).

ного образования – для анализа хромосом (в рамках курсов повышения квалификации). Специальная подготовка студентов по применению компьютерной микроскопии в биологии и медицине осуществляется на биологическом факультете Тюменского государственного университета, на кафедре компьютерных медицинских систем Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и т.д.

Особый интерес представляет опыт биологического факультета Пермского государственного университета, где преподается дисциплина «Компьютерная микроскопия» [13]. Цель этой дисциплины – сформировать навыки работы с современным микроскопическим оборудованием, системами визуализации и анализа компьютерных изображений, которые необходимы специалистам-биологам. Задачи дисциплины – освоить основные возможности компьютерной микроскопии, изучить этапы получения изображений и обработки результатов методами компьютерной микроскопии. Дисциплина «Компьютерная микроскопия» тесно связана с другими дисциплинами («Цитология», «Генетика» и т.п.), которые читаются студентам биологического факультета.

Подобный опыт может получить успешное распространение в аграрных вузах, занимающихся обучением студентов специальностям, относящимся к сферам растениеводства, животноводства, ветеринарии, переработки сельскохозяйственной продукции.

Компьютерная микроскопия также получает развитие в учебной деятельности технических вузов, связанной с подготовкой специалистов в области материаловедения и технологии материалов. С использованием компьютерной металлографии в Московском институте стали и сплавов и Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете проводятся лабораторные занятия по изучению микроструктуры металлов и сплавов, а в Санкт-Петербургском государственном горном университете – по изучению микроструктуры образцов горных пород и минералов.

Подобная практика может быть успешно распространена в аграрных вузах, занимающихся обучением студентов специальностям, относящимся к области производства и ремонта агропромышленной техники.

При внедрении компьютерной микроскопии в учебную деятельность вузов следует учитывать характерные признаки студенческой аудитории [1]. С одной стороны, студентам свойственна восприимчивость к новому, они обладают общей компьютерной грамотностью, проявляют интерес к компьютерным технологиям, с другой стороны, у них нет опыта практической работы по узкоспециализированным направлениям и, как следствие, они имеют слабое представление о возможностях использования компьютерных микроскопов при решении конкретных прикладных задач. Поэтому студентов следует первоначально обучить методам работы с компьютерными микроскопами, а затем

ознакомить с основными возможностями компьютерной микроскопии в процессе изучения определенных учебных дисциплин.

Компьютерные микроскопы наиболее эффективно использовать при проведении лабораторных занятий, в ходе которых можно демонстрировать микроизображения, формируемые непосредственно в микроскопе в режиме реального времени (с использованием специально приготовленных для анализа образцов биологических препаратов, срезов растительных или животных тканей, микрошлифов металлов и т.п.), либо микроизображения, хранящиеся в базе данных компьютера или на электронных носителях информации. Кроме того, компьютерные микроскопы весьма удобно применять на лекциях с учетом возможности вывода микроизображений на большой экран с помощью мультимедиа-проектора.

Несколько иной должна быть методика внедрения компьютерной микроскопии в учебную деятельность вузов, связанную с повышением квалификации дипломированных специалистов. Здесь следует учитывать, что для таких слушателей представляет особый интерес не общее ознакомление с возможностями компьютерных микроскопов, а изучение перспектив их использования в конкретных направлениях, непосредственно связанных с их производственной деятельностью.

Компьютерная микроскопия пока не получила должного распространения в учебной деятельности большинства аграрных вузов. Поэтому повышенного внимания заслуживает опыт работы тех из них, где компьютерные микроскопы заняли достойное место в учебном процессе. К таким вузам относится Оренбургский государственный аграрный университет, в котором компьютерная микроскопия используется на кафедре ботаники и физиологии растений при преподавании соответствующих учебных дисциплин – «Ботаника» и «Физиология растений» [14].

Кафедра оснащена компьютерным микроскопом, в состав которого входят тринокулярный микроскоп Micros MC-2000, видеокамера CAM-5000, персональный компьютер и программное обеспечение. На лабораторных занятиях по ботанике студенты с помощью компьютерного микроскопа рассматривают различные микропрепараты, как постоянные, так и приготовленные непосредственно студентами. Изображения изучаемых объектов, полученные в микроскопе, демонстрируются с использованием DVD-плеера или телевизора, что позволяет студентам лучше воспринимать учебный материал. Кроме того, при изучении систематики растений используется «электронный гербарий», значительно сокращающий время поиска необходимых данных. Он же используется во время летней учебной практики, когда студенты самостоятельно собирают гербарий и определяют видовой состав растений.

На лабораторных занятиях по физиологии растений студенты изучают различные микропрепараты, являющиеся своеобразными моделями, на которых с помощью компьютерного микроскопа можно увидеть ход физиологических процессов. Примером может служить препарат из клеток эпидермиса листьев растений для изучения процесса плазмолиза. Студенты делают видеозапись этого процесса и в ходе ее просмотра выявляют характерные особенности протекания процесса. Такой подход к проведению занятий способствует лучшему усвоению учебного материала. Результаты всех проведенных работ постоянно заносятся в электронный архив, доступный для пользования студентам.

### **Заключение**

Компьютерные микроскопы обладают большим спектром функциональных возможностей, что открывает широкие перспективы их использования в научной и учебной деятельности различных вузов. Они относятся к тем видам оборудования, оснащение которым вузов позволяет сформировать материально-техническую базу, необходимую для обеспечения тесной взаимосвязи учебного и научного процессов, что является одним из важнейших условий успешного развития высшей школы на современном этапе научно-технического прогресса.

Применение компьютерной микроскопии является особенно перспективным в аграрных вузах, что обусловлено возможностью эффективного использования компьютерных микроскопов при проведении научных исследований и подготовке специалистов для самых различных отраслей непрерывно развивающегося агропромышленного производства страны.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Пантелеев, В.Г. Компьютерная микроскопия / В.Г. Пантелеев, О.В. Егорова, Е.И. Клыкова. – Москва: Техносфера, 2005. – 304 с.

2. Медовый, В.С. Состав оборудования и системная платформа комплексов автоматизированной микроскопии / В.С. Медовый, А.А. Парпара, Б.З. Соколинский, В.Л. Демьянов // Медицинская техника, 2007. – №2. – С. 29-36.

3. Быкова, К.С. Диагностика и терапия лекарственного анафилактического шока у собак: автореф. ... дис. канд. вет. наук: 06.02.01 / К.С. Быкова; Донской гос. аграр. ун-т. – П. Персиановский, 2012. – 22 с.

4. Стародубова, О.А. Морфологическая оценка новообразований молочной железы собак при лечении фракций АСД-2: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.02.01 / О.А. Стародубова; Дальневосточный гос. аграр. ун-т. – Благовещенск, 2012. – 22 с.

5. Калошина, М.Н. Продуктивные особенности импортного голштинского скота в условиях Краснодарского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.02.10 / М.Н. Калошина; Кубанский гос. аграр. ун-т. – Краснодар, 2012. – 24 с.

6. Добрук, В. М. Продуктивные и клинико-физиологические показатели сухостойных коров в связи с условиями содержания / В.М. Добрук, Ю.А. Горбунов, Н.Г. Минина // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – Горки, 2010. – Вып. 13. ч. 1. – С. 269-276.

7. Воскресенская, О.Л. Физиология растений: учеб. пособ. / О.Л. Воскресенская, Н.П. Грошева, Е.А. Скочилова. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т., 2008. – 148 с.

8. Буданцев, А.Ю. Телевизионно-компьютерная микроскопия / А.Ю. Буданцев // Журнал 625, 1998. – № 8. – С. 40-49.

9. Жильцова, О.А., Исследование коррозии железа в кислых средах с использованием цифрового микроскопа / О.А. Жильцова // Юный химик, 2006. – № 2. – С. 46-50.

10. Сакара, А.А. Методика построения кинетических диаграмм усталостного разрушения сталей краповых конструкций в коррозионных средах / А.А. Сакара // Вест. Одесс. нац. морского ун-та, 2008. – № 25. – С. 124-133.

11. Пустовойт, В.Н. Кинетика и механизм роста трещин в стали со структурой ферритно-мартенситного композита / В.Н. Пустовойт, С.А. Гришин, М.В. Зайцев // Вест. ДГТУ, 2011. – Т. 11. – № 6. – С. 857-861.

12. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / И.Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2010. – 320 с.

13. Итоговый отчет Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пермский государственный университет» по результатам реализации инновационной образовательной программы «Формирование информационно-коммуникационной компетентности выпускников классического университета в соответствии с потребностями информационного общества» за 2006-2007 гг. / Пермский гос. ун-т [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-18332.html>. – Дата доступа: 13.02.2012.

14. Щукин, В.Б. Повышение качества образовательного процесса на основе применения информационных технологий при преподавании биологических дисциплин в ВУЗе / В.Б. Щукин, О.Г. Павлова, Н.В. Ильясова // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сб. матер. Междунар. научно-техн. конф. – Пенза: ПДЗ, 2009. – С. 205-207.