

# **Использование возможностей трехмерного моделирования и печати в проектной деятельности студентов при изучении сравнительной анатомии животных**

Т.Ю. Колпакова<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «ОмГПУ» Омский государственный педагогический университет, Омск,  
Россия

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-6213-7844, [kolpakova@omgpu.ru](mailto:kolpakova@omgpu.ru)

## **Аннотация**

В статье рассматриваются возможности использования 3D технологий в биологических лабораториях Технопарка универсальных педагогических компетенций ОмГПУ при обучении будущих биоэкологов и учителей биологии. Раскрываются особенности и потенциал использования новых методов при подготовке студентов – биологов, будущих учителей. Авторы представляют результаты использования нового оборудования в преподавании сравнительной анатомии животных в педагогическом университете. В статье рассматриваются возможности разработки и создания учебной 3D модели, особенности печати на 3D-принтере и последующая доработка модели разных типов позвонков животных, позволяющей наглядно продемонстрировать особенности их морфологии, пространственное расположение, что повышает эффективность и качество обучения студентов. Показано, что использование современных 3D технологий дает определенное преимущество через адаптацию образовательного процесса к современным требованиям цифровой образовательной среды, повышение наглядности анатомических объектов, что повышает эффективность и качество обучения студентов. Проектная деятельность студентов предполагает самостоятельное создание трехмерных анатомических моделей разных типов позвонков животных, способствует развитию творческого подхода в приобретении знаний и умений. Такая творческая работа создает хороший эмоциональный настрой, повышает мотивацию к обучению и уровень самооценки и существенно дополняет процесс изучения сравнительной анатомии животных.

**Ключевые слова:** сравнительная анатомия, моделирование, осевой скелет, трехмерная печать, технопарк универсальных педагогических компетенций.

## **1. Введение**

Новые федеральные государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования, введенные в ВУЗах России, преобразуют концепцию преподавания дисциплин предметно-методического профиля [1,2]. Эти изменения предполагают больше самостоятельной работы для студентов, для преподавателей – поиска и внедрения в учебный процесс новых эффективных образовательных технологий.

Технологии трехмерной печати известны уже почти 40 лет. В последние годы использование подобных современных технологий играет все более важную роль в бизнесе, в повседневной жизни, и в мире образования, значительно повышает качество обучения, улучшает восприятие учебного материала [3,4,5,6].

В современной биологии 3D технологии нашли широкое применение. Одним из многочисленных практических применений CPS являются интерактивные экспонаты в музеях [7]. Несмотря на развитие этой технологии, ее влияние на образование относи-

тельно меньше из-за отсутствия необходимых знаний как среди студентов, так и среди педагогов [8]. Но в настоящее время намечается существенный рост использования трехмерного моделирования и печати в образовательных учреждениях, где эти технологии являются отличными помощниками в организации учебного процесса [9,10]. Технологии 3D-печати могут улучшить как образование в области естественных наук, технологий, инженерии и математики, так и профессиональное и техническое образование, а также объединить эти два образовательных направления и предоставить возможности для взаимодействия между учебными программами [6]. Особенно, это касается изучения анатомии человека и животных. Поэтому в настоящее время перед преподавателями этих дисциплин ставится задача существенного преобразования учебного процесса, на передний план выдвигаются задачи активизации познавательного интереса обучающихся, а именно стимулирование их самостоятельной познавательной деятельности.

Так и преподавание сравнительной анатомии животных требует усовершенствования технологии обучения студентов и решения задач по развитию их мыслительного и креативного потенциала, самоорганизации в приобретении знаний. И особенно важно максимальное использование возможностей практико-ориентированного образования, которое включает: активные приемы приобретения и овладения знаниями; мотивированное обеспечение учебной деятельности; поддержку свободы научного поиска; анализ личного опыта; усиление социальной интеграции в учебный процесс.

В решении этих задач могут оказать существенную помощь 3D-технологии.

Трехмерное моделирование – это построение виртуальной модели объекта в трехмерном пространстве. Этот процесс максимально точно передает форму, внешний вид модели и другие параметры.

При изучении курса сравнительной анатомии животных, на занятиях нечасто приходится проводить анатомические исследования и применять метод диссекции, за неимением достаточного зоологического анатомического материала и ограниченного аудиторного времени, поэтому, 3D модели получают преимущество. Работать с 3D моделями намного легче, так как можно подробно рассмотреть любой анатомический орган со всех сторон, даже самый мелкий, для этого необходимо просто увеличить масштаб объекта. Файлы с 3D-моделями можно пересылать, выкладывать на образовательном портале и обсуждать дистанционно.

С учетом того, что 3D принтеры становятся все доступнее, у преподавателей появляется больше возможностей применения этих технологий в лабораториях, что сделает исследования более интересными и полноценными.

Процесс трехмерного моделирования анатомических структур подразумевает хорошее знание анатомии, понимание пространственной организации, топографии отдельных органов. Освоение сравнительной анатомии животных проходит более успешно, если обучающиеся активно участвуют в исследовательской работе, при этом особый акцент делается на особенностях эволюции и морфологии отдельных органов и систем. Здесь проектный метод позволяет студентам создавать действительность, формировать и развивать обучающую ситуацию.

Одним из главных вопросов, при изучении опорно-двигательной системы, является строение осевого скелета позвоночных животных и его развитие в филогенезе.

Позвоночник – сегментированная биомеханическая основа локомоторного аппарата и всего тела любого позвоночного животного, его структурной единицей является позвонок. Тела позвонков у представителей разных групп животных по форме очень разнообразны. Так у круглоротых функцию осевого скелета выполняет хорда, тела позвонков отсутствуют, имеются лишь зачатки верхних дуг. У хрящевых рыб формируются тела позвонков в результате проникновения клеток скелетогенной мезенхимы в волокнистую оболочку хорды, они вызывают ее охрящевание. По форме эти позвонки амфицельные, тело таких позвонков имеет вид вогнутого с двух концов, короткого цилиндра.

У большинства современных костистых рыб тела позвонков формируется как кожные или накладные кости, по форме они остаются амфицельными, соединяются через остаток хорды, которая окружена эластичной соединительнотканной оболочкой.

У современных амфибий имеются два типа позвонков. У представителей бесхвостых амфибий тела позвонков развиваются из основания верхней дуги, формируются прочные цельные позвонки, между позвонками развивается вытесняющий хорду межпозвоночный хрящ, тела этих позвонков выпуклые сзади. У хвостатых и безногих амфибий - тела позвонков образуют тонкий костный цилиндр, возникающий без хрящевого предшественника (как у костистых рыб). У высших хвостатых амфибий формируются опистхоцельные позвонки, между позвонками так же имеется межпозвоночный хрящ, тела этих позвонков выпуклые спереди, сзади вогнутые. У рептилий, так же как у высших бесхвостых амфибий позвонки прочные. Тела позвонков птиц приобретают сложную гетероцельную или седловидную форму. Позвонки млекопитающих имеют плоские межпозвоночные диски, которые состоят, главным образом, из волокнистого хряща, по типу это платицельные позвонки.

Несмотря на имеющуюся в многочисленной учебной литературе информацию о строении скелета животных, функциональное, биомеханическое и эволюционное преобразование позвоночника изучено значительно меньше, чем строение конечностей. Вероятно, это можно объяснить его положением глубоко в теле животного, его строением из большого числа коротких костей – позвонков.

У студентов в процессе изучения осевого скелета животных, возникают некоторые трудности в создании объемного зрительного образа, пространственного представления анатомии разных по форме типов позвонков.

Поэтому цель проектной работы: создание коллекции разных типов позвонков животных с применением современных технологий трехмерного моделирования и печати.

## **2. Материал и методы**

В проектной работе для создания трехмерных моделей пяти разных типов позвонков животных использовалась распространяемая бесплатно профессиональная программа Blender [11]. Эта программа позволяет пользоваться разными видами и техниками моделирования, что дает возможность разрабатывать более точные модели.

Для подготовки моделей к печати применялось программное обеспечение UltiMaker Cura. После перемещения файла в редактор (слайсер) и некоторой подготовки, программа сама «нарезает» модель на слои, выставляет опоры под нависающие элементы, рассчитывает время. Настройки слайсера играют одну из главных ролей при 3D печати. От них зависит время печати, прочность и внешний вид готового изделия [2,3,11]. Диапазон изменения настроек зависит от необходимых свойств готового изделия, типа пластика и функциональных возможностей принтера. Также не существует полностью универсальных настроек. Все настройки могут варьироваться от модели к модели, даже при печати одним типом пластика на одном принтере. Основными параметрами, на которые мы обращали внимание в первую очередь, это - температура стола, температура сопла (печати), высота слоя, толщина стенки, толщина дна (крышки), скорость печати, заполнение.

Так температура стола обеспечивает адгезию первого слоя пластика к самому столу, что не позволяет печатаемому изделию смещаться во время процесса печати. Слишком низкая температура стола не обеспечивает достаточной адгезии, в то время как слишком высокая размягчает пластик настолько, что он деформируется от нагрузки сверху. В нашем случае температура стола варьировалась в пределах 60-65°C.

Температура сопла обуславливает рабочую температуру подаваемого филамента. Правильно подобранная температура позволяет избежать возможных артефактов в ходе печати. Зачастую производители пластика указывают рекомендованную температу-

ру печати их пластиком, но в любом случае у каждого типа пластика есть свой диапазон. В нашем случае оптимальной температурой, в зависимости от условий, стала температура 205-210°C.

Высота слоя обуславливает высоту слоя пластика, количество слоёв в модели, время печати (больше слоёв — дольше печать) и, в случаях сложных форм, детализацию готового изделия. Путем проб и ошибок было выявлено, что высота слоя большая, чем диаметр сопла, ведет к значительному ухудшению качества печати. Для нас оптимальной высотой стали 0,1-0,2 мм.

Толщина стенки позволяет регулировать толщину стенок в печатаемом изделии. Чаще всего строится от диаметра сопла (толщина в 0,8 мм означает два слоя стенки при диаметре сопла в 0,4мм). В этой настройке мы чаще всего оставляли стандартное значение (0,4 мм), но для некоторых моделей, где была необходима большая надёжность, выставляли значение в 0,8 мм и более.

Толщина дна (крышки) позволяет настраивать высоту первых и последних слоёв, скорость печати и т.д. Отдельно от общей модели. Это позволяет изменить паттерн печати для экономии времени или изменения некоторых свойств изделия. Чаще всего этот параметр не превышал 4 слоёв для дна и 1 для крышки.

Скорость печати регулирует скорость потока филамента, скорость передвижения печатающей головки над заготовкой и, непосредственно, время печати. Влияет же, помимо времени, на прочность готового изделия (ниже скорость — медленней поток — больше адгезия между слоями). Для нас оптимальной скоростью стала 40 мм/с.

Заполнение играет огромную роль в прочности, весе, стоимости и времени печати. Так как полное заполнение модели очень время и ресурсозатратно, зачастую, изделие печатается полым, но с ребрами жёсткости. Этот параметр позволяет настроить паттерн линий жёсткости, их плотность и расположение в изделии.

Непосредственно печать осуществлялась на принтере компании ZENIT, модель ZENIT DUO. Этот принтер относится к, так называемым FDM (Fused Deposition Modeling), все устройства данного типа достаточно просты в работе и не требуют специализированной подготовки [11]. В качестве материала для печати использовался термопластик, в виде катушки нитей, черного и белого цвета.

Разработка модели каждого типа позвонка проходила в четыре этапа:

- 1) разработка 3D-модели будущего позвонка;
- 2) подготовка его в специальной программе для 3D-печати;
- 3) собственно печать на 3D принтере;
- 4) обработка напечатанной детали.

### **3. Результаты и их обсуждение**

В биологии используется огромное множество разнообразных наглядных учебных пособий: таблицы, схемы, модели и, конечно, натуральные объекты. Эти средства обучения делают занятия более интересными, облегчают понимание и усвоение материала, привлекают интерес, развивают мышление и память. Но современные студенты предпочитают, при подготовке к занятиям, использовать различного рода информационные и коммуникационные технологии, в том числе продукты 3D технологий, например, имеющийся в нашем распоряжении электронный анатомический атлас «Пирогов». С внедрением цифровых технологий в процесс обучения и у преподавателей возникла необходимость применения самых разнообразных форм и методов подачи учебного материала [12].

Трёхмерное моделирование является результативным способом изучения отдельных органов и систем в анатомии животных. Непосредственно в учебном процессе, при изучении сравнительной анатомии животных, моделирование не применяется, наибольший интерес оно получило в учебно-исследовательской и проектной деятельности студентов.

На кафедре биологии и биологического образования ОмГПУ имеется достаточно разных наглядных пособий, муляжей по сравнительной анатомии животных, имеются остеологические комплекты натуральных позвонков пяти разных типов: амфицельные, процельные, опистоцельные, гетероцельные и платицельные. Но позвонки мелкие, находятся в фиксированном состоянии (вклеены в коробку), что усложняет их детальное изучение.

Поэтому в рамках проектной работы студентов было принято решение студентам самостоятельно разработать 3D модели разных типов позвонков и напечатать их на 3D принтере.

Но этому предшествовала большая работа. В Технопарке универсальных педагогических компетенций ОмГПУ прошел мастер-класс для преподавателей университета по основам 3D-моделирования и 3D печати, где мы изучили основные принципы построения моделей, этапы и способы работы с 3D принтером. Затем подобное мероприятие прошло для студентов, где у обучающихся 3 курса профиля биоэкология и возникла идея по созданию коллекции разных типов позвонков животных. Работа над проектом началась с изучения теоретического материала о 3D принтерах, их видах, были изучены материалы для печати и их особенности. Участники проектной группы учились работать в программах создания моделей для печати, учились готовить модели для 3D-печати в программах, предназначенных для работы с трехмерными объектами, создавать простые трехмерные модели (рис. 1 - 4).

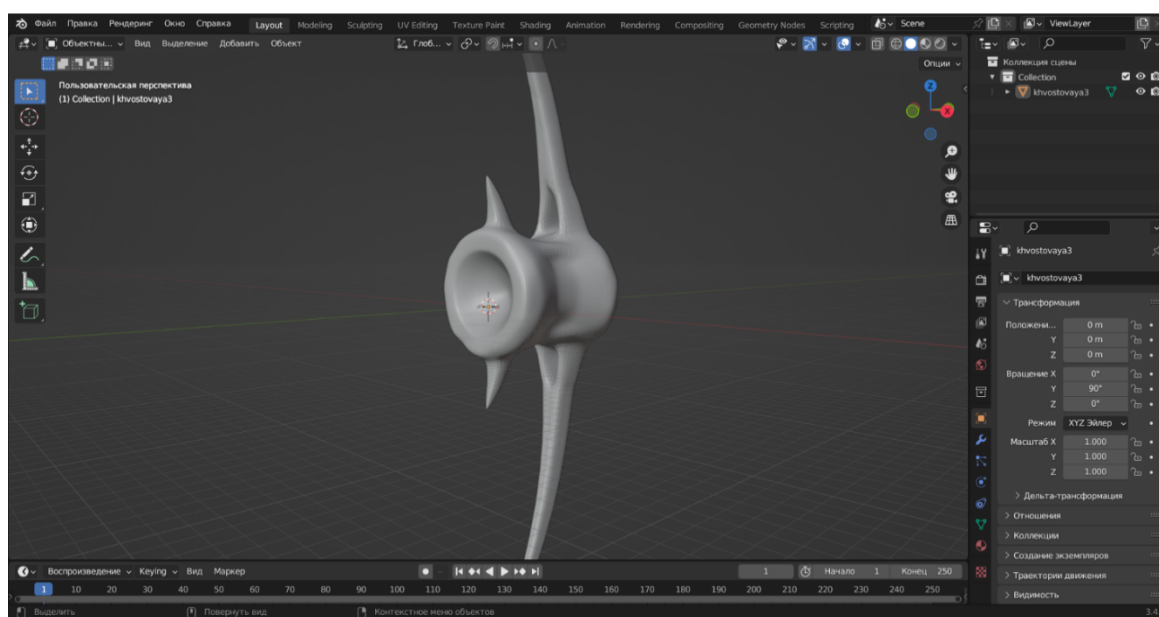


Рис. 1. Работа в программе Blender по созданию модели амфицельного позвонка рыбы



Рис. 2. Работа в программе Blender по созданию модели процельного позвонка земноводного

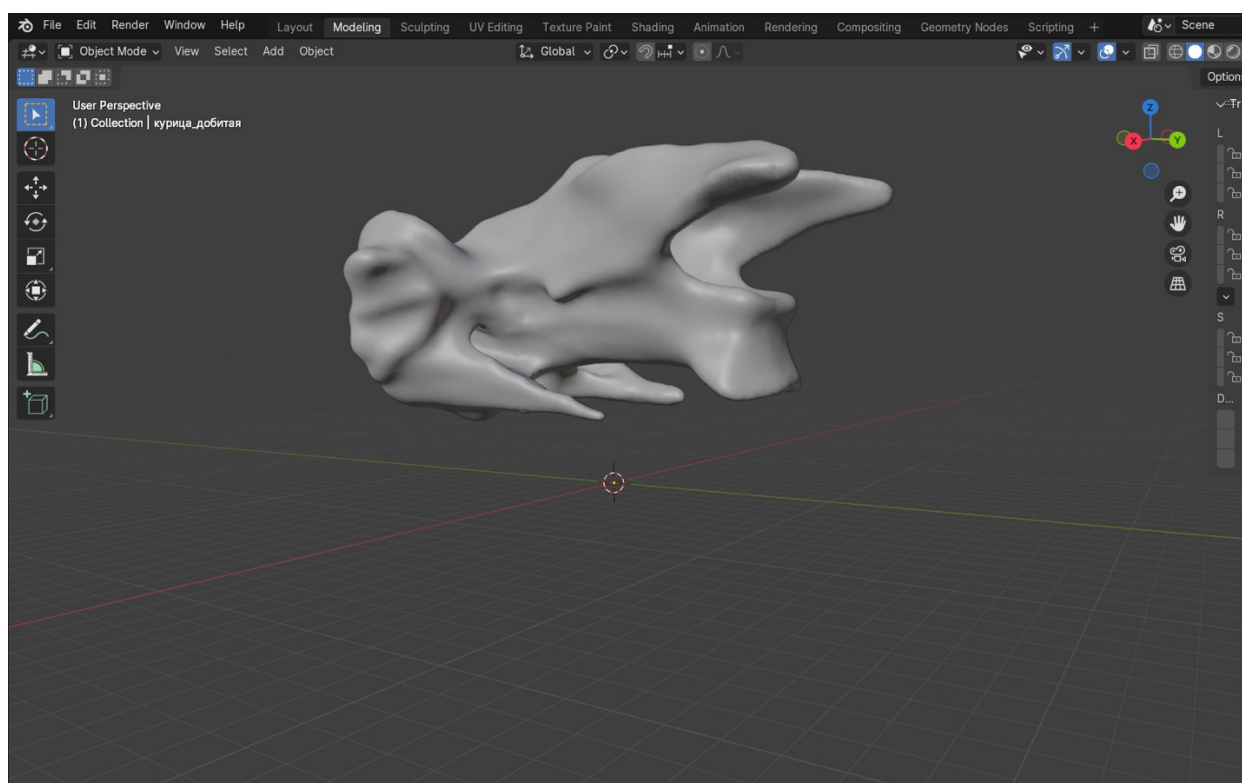


Рис. 3. Работа в программе Blender по созданию модели гетероцельного позвонка птицы



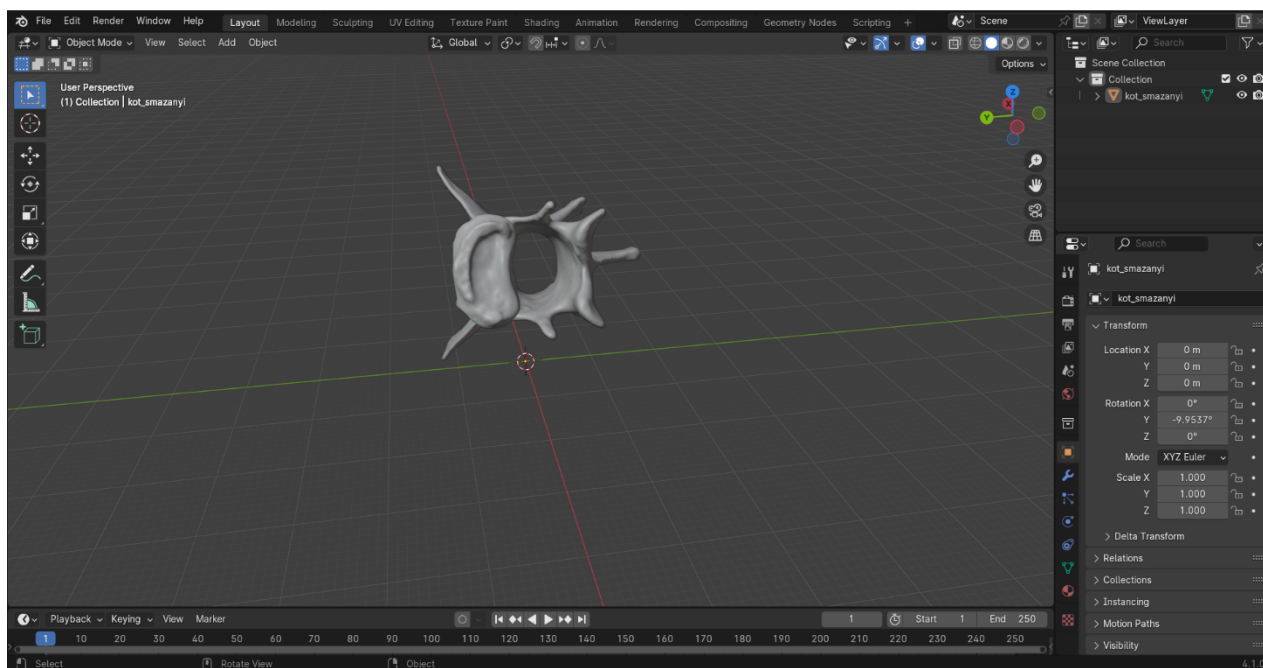


Рис. 4. Работа в программе Blender по созданию модели платицельного позвонка млекопитающего

Учились работать с принтером FDM типа, его вспомогательными частями и программным обеспечением. Так программа-слайсер позволяет настраивать параметры печатаемой модели. Печать идет путем подачи филамента на печатную поверхность. Основная часть принтера состоит из направляющих и экструдера, который состоит из хот-энда, нагревательного блока и сопла. Печать происходит при температуре до 70°C. После остывания детали, ее можно снимать. На готовой модели остаются вспомогательные опоры и неровная поверхность [13].

Опоры просто убираются руками, пока деталь еще теплая. В тонких местах лучше воспользоваться режущими инструментами, например, канцелярским ножом. Финальная обработка детали проводилась растворителем (дихлорметаном) с помощью кисти. Способ покрытия растворителем в «бане», нам не подошел, так как у детали много тонких элементов, которые начинали изменять геометрию до того, как основная часть принимала приемлемый внешний вид. Окунание в ванну с растворителем было отвергнуто из-за того, что растворитель затекал и оставался в труднодоступных местах слишком долго, что тоже сильно портило внешний вид детали [13].

Участники проектной группы параллельно изучали особенности анатомии и морфометрические характеристики амфицельных, опистоцельных, процельных, гетероцельных и платицельных позвонков животных. Выяснили, что тела позвонков бывают разной формы, они могут иметь дополнительные отростки. Форма сочленовных поверхностей разных типов позвонков изменяется в связи с потребностью животных в подвижности тела.

После большой подготовительной работы приступили собственно к реализации проекта, 3D моделированию и печати.

Существуют определенные требования, предъявляемые к изготовленным моделям: пропорциональность, информативность, схематичность, невысокая трудоемкость [7]. Исходя из этих требований, была представлена морфология будущих моделей позвонков разных классов животных (рис. 5).



Рис. 5. Процесс создания масштабированной модели амфицельного позвонка путем FDM-печати

Напечатанные модели позвонков являются хорошими масштабированными копиями, которые точно передают сложную анатомию, пространственную структуру каждого типа позвонка и дают возможность подробно ее изучить.

#### 4. Заключение

В процессе работы над проектом, студенты более качественно изучили осевой скелет, выявили основные морфофизиологические адаптации в ряду позвоночных животных при переходе от водного образа жизни к активному наземному. В работе над проектом были изучены возможности технологий 3D моделирования и печати анатомических объектов. Были изготовлены модели 5 разных типов позвонков, которые используются при изучении осевого скелета позвоночных животных на дисциплине сравнительная анатомия животных. Изготовленные позвонки являются масштабированной копией натуральных позвонков животных. Имеющиеся на них дефекты, легко устраняются путем последующей обработки.

Работа над проектом способствовала активации познавательной деятельности студентов и умению работать в группе. Создание объемных моделей разных типов позвонков способствовало развитию абстрактного мышления, развитию навыков работы в информационном пространстве. Такого рода творческая работа создает хороший эмоциональный настрой, повышает мотивацию к обучению и уровень самооценки и существенно дополняет процесс изучения сравнительной анатомии животных [14].

Проектная деятельность способствует перспективному росту будущих биологов и учителей биологии, увеличению мотивации занятия научной работой студентами и формированию их последующей научной связи с другими дисциплинами. Результаты работы были доложены студентами на двух конференциях ОмГПУ: IV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция «Цифровизация образования: теория и практика» и студенческой научно-практической конференции «Молодежь. Естественные науки и образование».

Промежуточные результаты работы над проектом опубликованы в журнале *Ratio et Natura*. 2023. № 1 (7), итоги всей проектной работы представлены в выпускной квалификационной работе «Использование аддитивных технологий для изучения морфологических адаптаций позвоночных животных».

Но несмотря на высокий темп развития и интеграции информационных технологий, 3D технологии пока не могут полностью конкурировать с натуральными препаратами.



## Список литературы

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки) (уровень бакалавриата). [Приказ Минобрнауки России от 09.02.2016 No 91] [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fgos.ru/fgos/fgos-44-03-05-pedagogicheskoe-obrazovanie-s-dvumya-profil'yami-podgotovki-91> (дата обращения: 29.11.2023).
2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 06.03.01 Биология (уровень бакалавриата). [Приказ Минобрнауки России от 07.08.2014 No 944] [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fgos.ru/fgos/fgos-06-03-01-biologiya-944> (дата обращения: 29.11.2023).
3. Пацко В.С., Стародубцев И.С., Федотов А.А. Физическая визуализация множеств в задачах управления // ГРАФИКОН 2015. Труды 25-й Международной научной конференции 2015. С. 22 – 27.
4. [https://www.researchgate.net/publication/333330077\\_Additive\\_Manufacturing\\_A\\_Tool\\_for\\_Better\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/333330077_Additive_Manufacturing_A_Tool_for_Better_Education)
5. Рамдхани Ф.Ф., Мулянти Б. на конференции IOP 2020 г. Сер.: Матер. наук. англ. 830 042093, DOI 10.1088/1757-899X/830/4/042093 (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/830/4/042093>).
6. Шелли К., Анзалоне Г., Вейнен Б., Пирс Дж. М. (2015). Технологии 3D-печати с открытым исходным кодом для образования: привнесение добавок в классе. Журнал визуальных языков и вычислений. 28 (2015) 226–237. DOI: 10.1016/j.jvlc.2015.01.004 ([https://www.academia.edu/11810477/Open\\_source\\_3\\_D\\_printing\\_Technologies\\_for\\_education\\_Bringing\\_Additive\\_Manufacturing\\_to\\_the\\_Classroom](https://www.academia.edu/11810477/Open_source_3_D_printing_Technologies_for_education_Bringing_Additive_Manufacturing_to_the_Classroom)).
7. Рябинин К.В., Колесник М.А., Ахтамзян А.И., Сударикова Е.В. Киберфизические музейные экспонаты на основе аддитивных технологий, материальных интерфейсов и научной визуализации (2019). Научная визуализация 11.4:27 - 42, DOI: 10.26583/св.11.4.03 (<http://sv-journal.org/2019-4/03/>).
8. Шарма, Ф., Диксит. Влияние технологий аддитивного производства на образование: обзор. В: Кошик, Х.Б., Диксит, США, Хосе, Дж., Джаганатан, Б.Г. (ред.) Тенденции в технологиях преподавания и обучения. НКРЭ 2022. Спрингер, Сингапур. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-4874-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-99-4874-1_7) ([https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-4874-1\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-4874-1_7)).
9. Бодин О. Н., Кузьмин А.В., Митрошин А.Н. Разработка визуальной модели сердца для обучения студентов-медиков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. 2007. № 2. С. 3 - 10.
10. Степанов А.Ю., Дягилев Д.В., Владимиров А.А. Разработка трехмерной анатомически точной модели человека // Наука, техника и образование. 2016. № 11 (29). С. 28-32.
11. Прахов А. А. Blender: 3D-моделирование и анимация. Руководство для начинающих — СПб.: БХВ-Петербург, 2013. — 272 с.
12. Денисов О. Е., Левашов И.А., Кузьмин А. В. Информационная система для изучения анатомии человека // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2014. № 2 (10). С. 153 – 157.
13. Жуков И.В., Новикова А.И., Дубель А.Н. Разработка и изготовление позвонков рыбы с использованием возможностей 3D-моделирования и 3D-печати // Ratio et Natura. 2023. № 1 (7).
14. Деревянко Н., Залевская Е. Методика внедрения аддитивных технологий в образовательный процесс при подготовке будущих графических дизайнеров. Хортицкая национальная академия. Науковий вісник Мукачевського державного університету. Серія «Педагогіка і психологія» 2023; 9 (1): 69-79 (<https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=3844791>).

# Use of 3d Modelling and Printing Capabilities in Students' Project Activities in the Study of Comparative Anatomy of Animals

T.Yu Kolpakova<sup>1</sup>

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-6213-7844, [kolpakova@omgpu.ru](mailto:kolpakova@omgpu.ru)

## **Abstract**

The article discusses the possibilities of using 3D technologies in biological laboratories of the Technopark of universal pedagogical competencies of Omsk State Pedagogical University when training future bioecologists and biology teachers. The features and potential of using new methods in training students - biologists and future teachers - are revealed. The authors present the results of using new equipment in teaching comparative animal anatomy in a pedagogical university. The article discusses the possibilities of development and creation of a training 3D model, features of printing on a 3D printer and subsequent refinement of the model of different types of animal vertebrae, which allows you to clearly demonstrate the features of their morphology and spatial arrangement, which increases the efficiency and quality of education of students. It is shown that the use of modern 3D technologies provides a certain advantage by adapting the educational process to the modern requirements of the digital educational environment, increasing the visibility of anatomical objects, which increases the efficiency and quality of students' learning. Project activity of students involves an independent creation of three-dimensional anatomical models of different types of animal vertebrae, which contributes to the development of a creative approach in acquiring knowledge and skills. Such creative work creates a good emotional atmosphere, increases motivation for learning and the level of self-esteem, and significantly complements the process of studying comparative animal anatomy.

**Keywords:** comparative anatomy, modeling, axial skeleton, three-dimensional printing, technology park of universal pedagogical competencies.

## **References**

1. Pedagogical education (with two profiles of training) (bachelor's level). [Order of the Ministry of Education and Science of Russia dated 02/09/2016 No. 91] [Electronic resource]. Access mode: <https://fgos.ru/fgos/fgos-44-03-05-pedagogicheskoe-obrazovanie-s-dvumya-profilami-podgotovki-91> (access date: 11/29/2023).
2. Federal state educational standard of higher education in the field of training 06.03.01 Biology (bachelor's level). [Order of the Ministry of Education and Science of Russia dated 08/07/2014 No. 944] [Electronic resource]. Access mode: <https://fgos.ru/fgos/fgos-06-03-01-biologiya-944> (access date: November 29, 2023).
3. Patsko V.S., Starodubtsev I.S., Fedotov A.A. Physical visualization of sets in control problems // GRAPHICON 2015. Proceedings of the 25th International Scientific Conference 2015. pp. 22 – 27.
4. [https://www.researchgate.net/publication/333330077\\_Additive\\_Manufacturing\\_A\\_Tool\\_for\\_Better\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/333330077_Additive_Manufacturing_A_Tool_for_Better_Education)
5. Ramdhani F.F., Mulanti B. at the IOP conference 2020. Ser.: Mater. Sci. English 830 042093, DOI 10.1088/1757-899X/830/4/042093 (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/830/4/042093>).

6. Shelley, K., Anzalone, G., Wijnen, B., Pearce, J. M. (2015). Open source 3D printing technologies for education: Bringing additives into the classroom. *Journal of Visual Languages and Computing*. 28 (2015) 226–237. DOI: 10.1016/j.jvlc.2015.01.004 ([https://www.academia.edu/11810477/Open\\_source\\_3\\_D\\_printing\\_Technologies\\_for\\_education\\_Bringing\\_Additive\\_Manufacturing\\_to\\_the\\_Classroom](https://www.academia.edu/11810477/Open_source_3_D_printing_Technologies_for_education_Bringing_Additive_Manufacturing_to_the_Classroom)).
7. Ryabinin K.V., Kolesnik M.A., Akhtamzyan A.I., Sudarikova E.V. Cyberphysical museum exhibits based on additive technologies, material interfaces and scientific visualization (2019). *Scientific Visualization* 11.4:27 - 42, DOI: 10.26583/sv.11.4.03 (<http://sv-journal.org/2019-4/03/>).
8. Sharma, F., Dixit. The impact of additive manufacturing technologies on education: a review. In: Kaushik, H.B., Dixit, US, Jose, J., Jaganathan, B.G. (ed.) *Trends in Teaching and Learning Technologies*. NERC 2022. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-4874-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-99-4874-1_7) ([https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-4874-1\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-4874-1_7)).
9. Bodin O.N., Kuzmin A.V., Mitroshin A.N. Development of a visual model of the heart for training medical students // *News of higher educational institutions. Volga region. Medical Sciences*. 2007. No. 2. P. 3 - 10.
10. Stepanov A.Yu., Dyagilev D.V., Vladimirov A.A. Development of a three-dimensional anatomically accurate human model // *Science, technology and education*. 2016. No. 11 (29). pp. 28-32.
11. Prakhov A. A. *Blender: 3D modeling and animation. A guide for beginners* - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2013. - 272 p.
12. Denisov O. E., Levashov I.A., Kuzmin A. V. Information system for studying human anatomy // *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2014. No. 2 (10). pp. 153 – 157.
13. Zhukov I.V., Novikova A.I., Dubel A.N. Development and production of fish vertebrae using the capabilities of 3D modeling and 3D printing // *Ratio et Natura*. 2023. No. 1 (7).
14. Derevyanko N., Zalevskaya E. Methodology for introducing additive technologies into the educational process in the preparation of future graphic designers. *Khortytsia National Academy. Scientific newsletter of Mukachevo State University. Series “Pedagogy and Psychology”* 2023; 9 (1): 69-79 (<https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=3844791>).