

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра информационных и управляющих систем
Направление подготовки 09.04.04 – Программная инженерия
Направленность (профиль) образовательной программы Управление разработкой программного обеспечения

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
_____ А.В. Бушманов
«__» _____ 2025 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Реалистичная 3D-модель Албазинского острога 1685 года

Исполнитель студент группы 3105-ом1	_____	Ю.Р. Коваленко
	(подпись, дата)	
Руководитель профессор, доктор техн. наук	_____	И.Е. Ерёмин
	(подпись, дата)	
Руководитель научного содержания программы магистратуры профессор, доктор техн. наук	_____	И.Е. Ерёмин
	(подпись, дата)	
Нормоконтроль Инженер кафедры	_____	В.Н. Адаменко
	(подпись, дата)	
Рецензент	_____	И.С. Вирта
	(подпись, дата)	

Благовещенск, 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Институт компьютерных и инженерных наук
Кафедра информационных и управляющих систем

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____ А.В. Бушманов
«___» _____ 2025 г.

ЗАДАНИЕ

К магистерской диссертации студента _____ группы 3105-ом1

Коваленко Юрия Романовича

1. Тема магистерской диссертации: Реалистичная 3D-модель Албазинского
острога 1685 года

(Утверждено приказом от 06.03.2025 № 609-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта): 10.06.2025

3. Исходные данные к магистерской диссертации: историческое описание, высо-
кополигональная модель, интернет ресурсы, учебная литература

4. Содержание магистерской диссертации (перечень подлежащих разработке во-
просов): цифровые двойники, инструменты разработки, 3D-модели русских и
китайских сооружений

5. Перечень материалов приложения (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем,
программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): _____

6. Рецензент магистерской диссертации: И.С. Вирта, генеральный директор
Агентство «Z-LABS»

7. Дата выдачи задания 29.01.2025

Руководитель выпускной квалификационной работы: _____

И.Е. Ерёмин, профессор, доктор техн. наук

(фамилия, имя, отчество, должность, уч.степень, уч.звание)

Заявление принял к исполнению _____

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 76 страниц, 40 рисунков, 50 источников

ИСТОРИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ, АЛБАЗИНСКИЙ ОСТРОГ, АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ, 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ

Целью данной работы является создание достоверной цифровой 3D- модели Албазинского острога 1685 года с применением современных методов исторического анализа, архитектурного моделирования и программных средств, с целью сохранения и популяризации культурного наследия, а также интеграции результата в образовательные и музейные проекты.

Процесс разработки включал несколько этапов:

- изучить исторические, архивные и археологические источники, относящиеся к Албазинскому острогу и аналогичным укреплениям XVII века;
- выполнить анализ существующих решений в области цифровой реконструкции исторических объектов;
- определить оптимальные программные средства для 3D-моделирования, текстурирования и визуализации исторических сооружений;
- разработать методику поэтапного создания 3D-модели, включая построение базовой геометрии, детализацию архитектурных элементов, ретопологию и UV-развёртку и текстурирование;
- реализовать высокополигональные и оптимизированные низкополигональные модели русских и китайских укреплений, а также земляных сооружений.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Общая характеристика исследуемой задачи	7
1.1 Цифровой двойник исторического сооружения	7
1.2 Объект исследования	12
1.3 Существующие решения	15
2 Методика и инструменты разработки 3D-модели Албазинского острога	20
2.1 Общая схема решения задачи	20
2.2 Обзор профильного программного обеспечения	24
2.3 Детальная схема решения задачи	34
3 Пошаговая разработка 3D-моделей русских и китайских укреплений	40
3.1 Создание моделей русских сооружений	40
3.2 Создание моделей китайской армии	56
3.3 Создание моделей земляных укреплений для китайской стороны	64
Заключение	71
Библиографический список	73

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы стремительное развитие компьютерных технологий открывает новые возможности для историков и археологов: при помощи методов трёхмерного моделирования и визуализации можно воссоздавать облик давно исчезнувших сооружений и реконструировать ход событий, произошедших столетия назад. Такая практика не только углубляет понимание исторических процессов, но и делает их наглядными и доступными широкой аудитории.

Актуальность данной работы определяется важностью Албазинского острога и его второй осады в 1685–1686 годах для истории Дальнего Востока и России в целом. Полевые раскопки, архивные источники и первые 3D-модели, созданные ранее, дали основу, но требовали комплексной доработки и интеграции утраченных конструкций – от деревянных башен и земляных валов до походных лагерей маньчжурской армии.

Целью исследования стало разработать и оптимизировать полный цикл цифровой реконструкции укреплений, построек и лагерей обеих сторон конфликта: от сбора и анализа исторических данных до получения лёгких low-poly моделей, готовых для интерактивных презентаций и виртуальных экскурсий. Для этого использовались инструменты Blender (с аддоном RetopoFlow), RizomUV, Substance Painter и игровой движок Unreal Engine.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изучить исторические, архивные и археологические источники, относящиеся к Албазинскому острогу и аналогичным укреплениям XVII века;
- выполнить анализ существующих решений в области цифровой реконструкции исторических объектов;
- определить оптимальные программные средства для 3D-моделирования, текстурирования и визуализации исторических сооружений;
- разработать методику поэтапного создания 3D-модели, включая построение базовой геометрии, детализацию архитектурных элементов, ретопологию и

UV-развёртку и текстурирование;

– реализовать высокополигональные и оптимизированные низкополигональные модели русских и китайских укреплений, а также земляных сооружений.

Реализация этого подхода позволит получить обоснованную историко-археологическую реконструкцию Албазинского острога, пригодную для научных публикаций, музейных экспозиций и образовательных мультимедийных проектов.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДУЕМОЙ ЗАДАЧИ

1.1 Цифровой двойник исторического сооружения

В современном мире цифровые технологии активно проникают в различные сферы человеческой деятельности, включая исторические исследования и сохранение культурного наследия. Одним из наиболее перспективных направлений является создание цифровых двойников исторических сооружений. Цифровой двойник представляет собой виртуальную копию реального объекта, которая воспроизводит не только его внешний облик, но и функциональные характеристики, исторический контекст и эволюцию во времени.

Цифровые двойники исторических сооружений позволяют исследователям, архитекторам и широкой общественности получить доступ к объектам, которые могут быть утрачены, разрушены или находятся в труднодоступных местах. Они служат инструментом для изучения архитектурных особенностей, реконструкции утраченных элементов и популяризации исторического наследия. Пример цифрового двойника показан на рисунке 1.

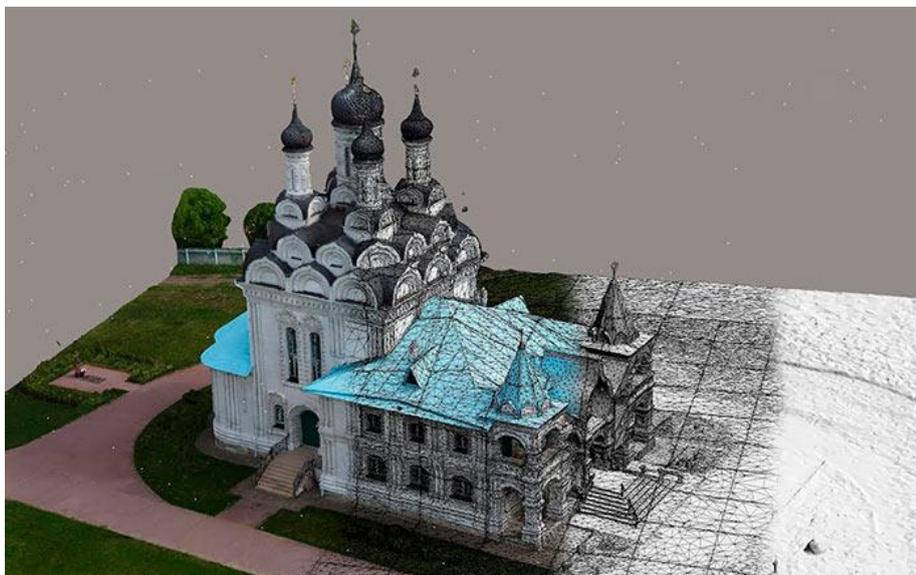


Рисунок 1 – Цифровой двойник исторического сооружения

Кроме того, такие модели могут быть использованы в образовательных целях, позволяя студентам и школьникам визуализировать исторические события и архитектурные стили.

Создание цифрового двойника исторического сооружения представляет собой сложный и многоаспектный процесс, который требует объединения знаний и навыков из различных научных и технических областей. Междисциплинарный подход является основой для успешной реализации такого проекта, так как он позволяет учитывать все нюансы, связанные с историческим контекстом, архитектурными особенностями и современными технологическими возможностями.

Исторические исследования играют ключевую роль на начальном этапе, так как они обеспечивают фундамент для понимания объекта. Это включает в себя анализ архивных документов, летописей, карт, чертежей и других письменных источников, которые помогают восстановить не только внешний облик сооружения, но и его функциональное назначение, а также исторические события, связанные с ним. Например, для реконструкции Албазинского острога используются описания, оставленные казаками и воеводами, а также карты XVII–XVIII веков, пример одной из них показан на рисунке 2, которые позволяют определить точное расположение укреплений и построек.

Кроме того, важным источником информации являются археологические данные, такие как остатки фундаментов, фрагменты стен и предметы быта, которые помогают уточнить детали конструкции и материалы, использованные при строительстве.

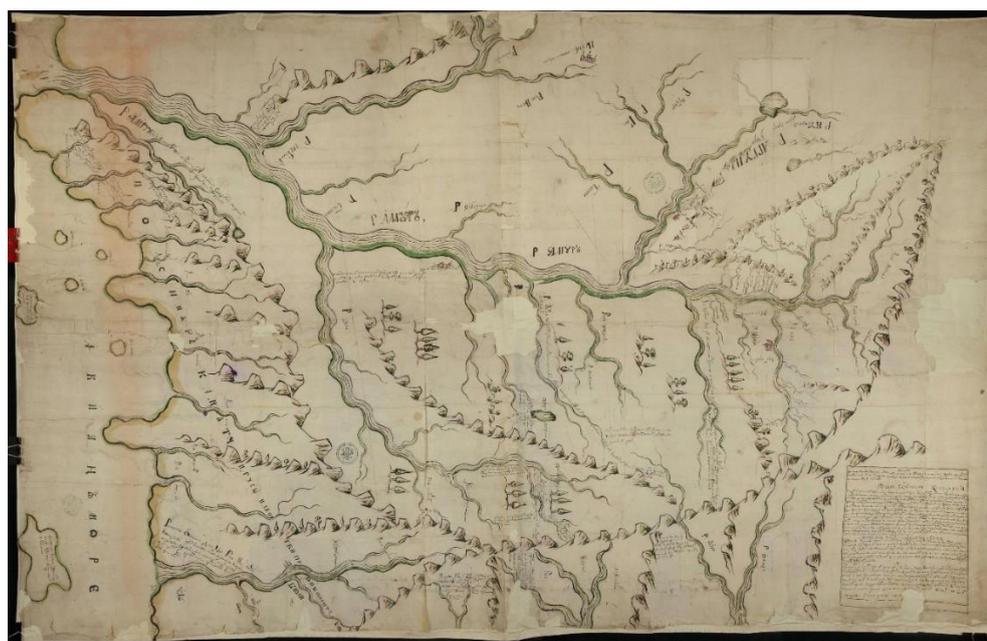


Рисунок 2 – Карта «Чертеж реки Амур 1689 года»

Архитектурный анализ дополняет исторические исследования, позволяя глубже понять конструктивные особенности сооружения. Этот этап включает изучение технологий строительства, которые применялись в тот период, а также анализ аналогичных объектов, сохранившихся до наших дней. Например, для реконструкции деревянных укреплений Албазинского острога используются данные о других русских острогах XVII века, таких как Нерчинский или Якутский. Архитектурный анализ также помогает определить, как сооружение взаимодействовало с окружающей средой, какие материалы использовались для его строительства и как эти материалы могли изменяться под воздействием времени и природных факторов.

3D-моделирование является следующим этапом, на котором собранные данные превращаются в визуальную реконструкцию. Этот процесс включает создание трёхмерной геометрии объекта, наложение текстур, которые воспроизводят внешний вид материалов, таких как дерево, камень или штукатурка, а также добавление мелких деталей, таких как резьба по дереву или декоративные элементы. 3D-моделирование позволяет не только воссоздать внешний облик сооружения, но и смоделировать его внутреннее пространство, что особенно важно для объектов, которые не сохранились до наших дней.

Современные технологии, такие как фотограмметрия, лазерное сканирование и виртуальная реальность, играют важную роль в создании цифрового двойника. Фотограмметрия использует серии фотографий, сделанных с разных ракурсов, чтобы создать трёхмерную модель с высокой точностью. Этот метод особенно полезен для объектов, которые частично разрушены или находятся в труднодоступных местах. Лазерное сканирование, в свою очередь, позволяет получить точные данные о геометрии объекта, даже если он имеет сложную структуру или находится в плохом состоянии. Виртуальная реальность добавляет интерактивность, позволяя пользователям «погрузиться» в воссозданное пространство, изучить объект с разных ракурсов и даже «поучаствовать» в исторических событиях, связанных с ним.

Таким образом, создание цифрового двойника – это не просто техническая задача, а комплексный процесс, который требует глубокого понимания истории,

архитектуры и современных технологий. Только объединив усилия специалистов из разных областей, можно создать точную и достоверную модель, которая не только сохранит память об историческом объекте, но и сделает его доступным для изучения и популяризации. Важным аспектом является точность воспроизведения исторического объекта, что требует тщательного анализа архивных материалов, археологических данных и исторических документов.

Цифровые двойники исторических сооружений открывают новые возможности для изучения и сохранения культурного наследия. Они позволяют не только воссоздать утраченные объекты, но и исследовать их в динамике, учитывая изменения, происходившие с течением времени. Например, с помощью цифровых технологий можно восстановить первоначальный облик сооружения, а затем показать, как оно изменялось под влиянием природных факторов, войн или реконструкций.

Одним из ключевых преимуществ цифровых двойников является их интерактивность. В отличие от традиционных макетов или статичных изображений, цифровые модели позволяют пользователю взаимодействовать с объектом, изменять ракурс, масштаб и даже "погружаться" в виртуальное пространство. Это особенно важно для образовательных целей, так как позволяет сделать процесс изучения истории более наглядным и увлекательным.

Кроме того, цифровые двойники могут быть интегрированы в различные мультимедийные проекты, такие как виртуальные музеи, интерактивные выставки или образовательные платформы. Это расширяет аудиторию и делает историческое наследие доступным для людей по всему миру. Например, виртуальные туры по историческим объектам позволяют пользователям из разных стран "посетить" места, которые они никогда бы не смогли увидеть в реальности.

Создание цифрового двойника исторического сооружения – это сложный процесс, который требует не только технических навыков, но и глубокого понимания исторического контекста. Необходимо учитывать множество факторов, таких как архитектурные стили, строительные технологии, материалы и даже климатические условия, которые могли повлиять на состояние объекта. Для этого привлекаются специалисты из разных областей: историки, археологи, архитекторы,

реставраторы и IT-специалисты.

Важным этапом создания цифрового двойника является сбор и анализ данных. Источники информации могут быть самыми разнообразными: архивные документы, старые фотографии, чертежи, археологические находки, описания современников и даже устные предания. На основе этих данных строится гипотеза о том, как выглядел объект в прошлом, и создаётся его цифровая модель.

Современные технологии, такие как фотограмметрия и лазерное сканирование, позволяют с высокой точностью воспроизводить реальные объекты. Фотограмметрия, например, использует серии фотографий, сделанных с разных ракурсов, чтобы создать трёхмерную модель. Лазерное сканирование, в свою очередь, позволяет получить точные данные о геометрии объекта, даже если он частично разрушен или находится в труднодоступном месте.

После создания модели важно обеспечить её доступность для широкой аудитории. Это может быть достигнуто с помощью различных платформ, таких как веб-сайты, мобильные приложения или системы виртуальной реальности. Например, пользователи могут "посетить" виртуальную реконструкцию исторического объекта с помощью VR-шлема или просто просмотреть модель на экране компьютера.

Таким образом, цифровые двойники исторических сооружений представляют собой мощный инструмент для сохранения, изучения и популяризации культурного наследия. Они объединяют в себе достижения современных технологий и глубокие исторические знания, позволяя воссоздавать утраченные объекты и делать их доступными для будущих поколений.

1.2 Объект исследования

Албазинский острог, основанный в XVII веке, является одним из ключевых объектов истории освоения Дальнего Востока России. Он сыграл важную роль в защите русских земель от внешних угроз и стал символом мужества и стойкости первых поселенцев. Острог был построен в 1685 году и представлял собой укреплённое поселение, окружённое деревянными стенами с башнями. Внутри острога располагались жилые постройки, церковь и административные здания, историческая зарисовка острога показана на рисунке 3.

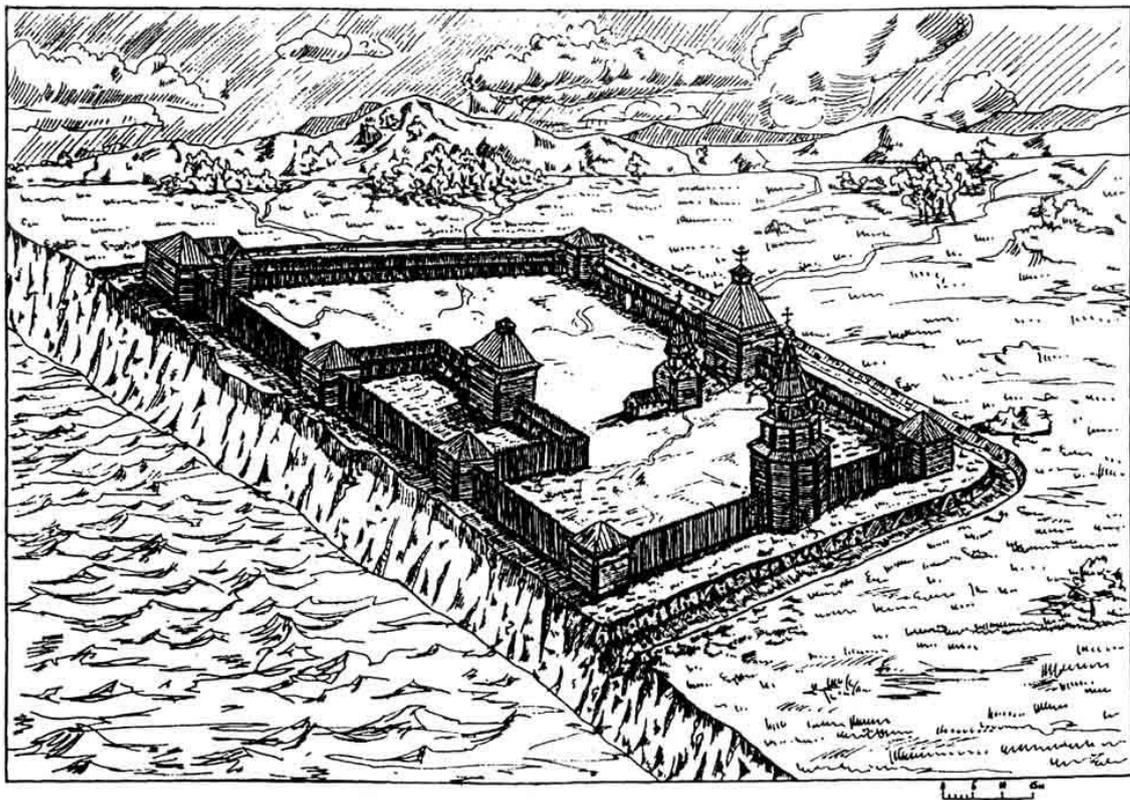


Рисунок 3 – Историческая зарисовка Албазинского острога 1685 год

Историческое значение Албазинского острога заключается не только в его военно-стратегической роли, но и в том, что он стал центром взаимодействия русских поселенцев с местным населением и китайскими властями. Острог был свидетелем многочисленных конфликтов и переговоров, которые в конечном итоге привели к установлению границ между Россией и Китаем.

Несмотря на свою историческую важность, Албазинский острог не сохранился до наших дней в своём первоначальном виде, на данный момент на месте нахождения острога находится пустая площадка с информационной табличкой и деревянным крестом, это изображено на рисунке 4.



Рисунок 4 – Месторасположение острога в наши дни

Это делает задачу его реконструкции особенно актуальной. Создание 3D-модели острога позволит не только восстановить его внешний облик, но и понять архитектурные особенности, которые были характерны для русских укрепленных поселений XVII века.

Для точного воспроизведения острога необходимо учитывать множество факторов, включая материалы, использованные при строительстве, технологию возведения стен и башен, а также особенности планировки внутренних построек. Источники для реконструкции включают археологические данные, исторические документы, описания современников и аналогичные сооружения того периода.

Албазинский острог был построен в стратегически важном месте на берегу реки Амур, что позволяло контролировать водные пути и защищать русские поселения от набегов. Его укрепления состояли из высоких деревянных стен, усиленных башнями, которые служили наблюдательными пунктами и местами для размещения артиллерии. Внутри острога находились жилые дома, склады, церковь и приказная изба, где решались административные вопросы.

Особенностью Албазинского острога было его расположение на границе русских и китайских владений, что делало его не только военным, но и дипломатическим центром. Острог неоднократно подвергался осадам и штурмам со стороны китайских войск, но каждый раз восстанавливался и продолжал выполнять свои

функции. Эти события нашли отражение в исторических хрониках и документах, которые являются важными источниками для реконструкции острога.

Археологические исследования, проведённые на месте Албазинского острога, позволили обнаружить остатки укреплений, фундаменты построек и предметы быта, которые помогают восстановить облик острога. Например, были найдены фрагменты деревянных конструкций, керамика, оружие и инструменты, которые использовались поселенцами. Эти находки дополняют письменные источники и позволяют более точно воссоздать жизнь в остроге, оставшиеся элементы острога найденные во время раскопок показаны на рисунке 5.



Рисунок 5 – Остатки тыновой стены Албазинского острога во время раскопок

Одной из сложностей при реконструкции Албазинского острога является отсутствие подробных чертежей или изображений, которые бы сохранились до наших дней. Поэтому исследователи вынуждены опираться на описания современников, а также на аналогичные сооружения того периода. Например, другие русские остроги XVII века, такие как Нерчинский или Якутский, могут служить

ориентирами для восстановления архитектурных особенностей Албазинского острога.

Важным аспектом реконструкции является воспроизведение материалов и технологий, которые использовались при строительстве. Деревянные стены и башни острога были построены с использованием традиционных методов, таких как срубная конструкция и укрепление земляными валами. Эти технологии были характерны для русских укреплений того времени и требуют тщательного изучения для точного воспроизведения в 3D-модели.

Создание 3D-модели Албазинского острога не только позволит восстановить его исторический облик, но и даст возможность исследовать его архитектурные и функциональные особенности. Например, можно будет проанализировать, как были организованы оборонительные сооружения, как располагались жилые и административные здания, и как острог взаимодействовал с окружающей средой. Это особенно важно для понимания того, как русские поселенцы адаптировались к условиям Дальнего Востока и как они строили свои отношения с местным населением.

Таким образом, Албазинский острог представляет собой уникальный объект для исследования и реконструкции. Его историческая значимость, сложная архитектура и богатый исторический контекст делают его важным элементом культурного наследия России. Создание 3D-модели острога позволит не только сохранить память об этом историческом объекте, но и сделать его доступным для изучения и популяризации.

1.3 Существующие решения

В настоящее время существует несколько подходов к визуализации исторических сооружений, одним из которых является создание музейных макетов. Музейные макеты представляют собой физические модели, выполненные в масштабе, которые используются для демонстрации архитектурных объектов в музеях и на выставках. Такие макеты позволяют зрителям получить наглядное представление о том, как выглядело то или иное сооружение в прошлом. Они часто используются для реконструкции утраченных или частично сохранившихся объектов, таких как

древние города, крепости или храмы. Например, макет Московского Кремля XV века или реконструкция древнеримских форумов помогают представить исторический облик этих объектов.

Однако музейные макеты имеют ряд ограничений. Во-первых, их создание требует значительных материальных и временных затрат. Процесс изготовления макета включает в себя сбор исторических данных, разработку чертежей, подбор материалов и ручную работу, что делает его дорогостоящим и трудоёмким. Во-вторых, такие макеты статичны и не позволяют изменять масштаб или рассматривать объект с разных ракурсов. Это ограничивает возможности для детального изучения архитектурных особенностей. В-третьих, музейные макеты часто упрощают реальные архитектурные формы из-за ограничений в материалах и технологиях изготовления. Например, мелкие детали, такие как резьба по дереву или элементы декора, могут быть опущены или схематично изображены.

На данный момент существует макет Албазинского острога, который находится в музее города Албазино, он выполнен из дерева и имеет ряд неточностей, таких как неточная передача расположения церкви, также макетная модель церкви отличается от той которая была в действительности, эту деталь можно увидеть при рассмотрении старых зарисовок и планов острога, макет представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Макет Албазинского острога

В отличие от музейных макетов, цифровые 3D-модели обладают большей гибкостью и функциональностью. Они позволяют не только воспроизводить

внешний облик сооружения, но и моделировать его внутреннее пространство, изменять освещение, текстуры и другие параметры. Цифровые модели могут быть легко масштабированы, что позволяет рассматривать как общий план объекта, так и его отдельные элементы в мельчайших деталях. Кроме того, такие модели могут быть интегрированы в интерактивные приложения, такие как виртуальные туры или образовательные программы, что делает их более доступными для широкой аудитории.

Существующие цифровые реконструкции исторических сооружений демонстрируют высокий уровень детализации и точности. Например, проекты по созданию 3D-моделей древних городов, таких как Помпеи или Вавилон, позволяют исследователям и посетителям виртуально "пройтись" по улицам и рассмотреть здания в мельчайших деталях. Эти модели не только воссоздают внешний облик сооружений, но и включают в себя исторический контекст, показывая, как жили люди в те времена, какие технологии они использовали и как взаимодействовали с окружающей средой.

В интернете размещены фото цифровой модели острога, но они имеют ряд неточностей, таких же, как и макетная модель, таких как церковь и её расположение, также другие постройки и их положение, изображение этой цифровой модели показано на рисунке 7.



Рисунок 7 – Цифровая модель Албазинского острога

Особый интерес в контексте изучения Албазинского острога представляет работа научных сотрудников и Нацвина Алексея Викторовича – преподавателя Амурского государственного университета, который активно занимается исследованиями в области цифровой реконструкции исторических объектов. В своих публикациях Нацвин А.В. подробно рассматривает методики создания 3D-моделей на основе археологических данных и архивных источников. Результатом работы Нацвина А.В стала модель Албазинского острога, но она имеет ряд неточностей, которые нужно исправлять и дополнять модель в общем, она показана на рисунке 8.

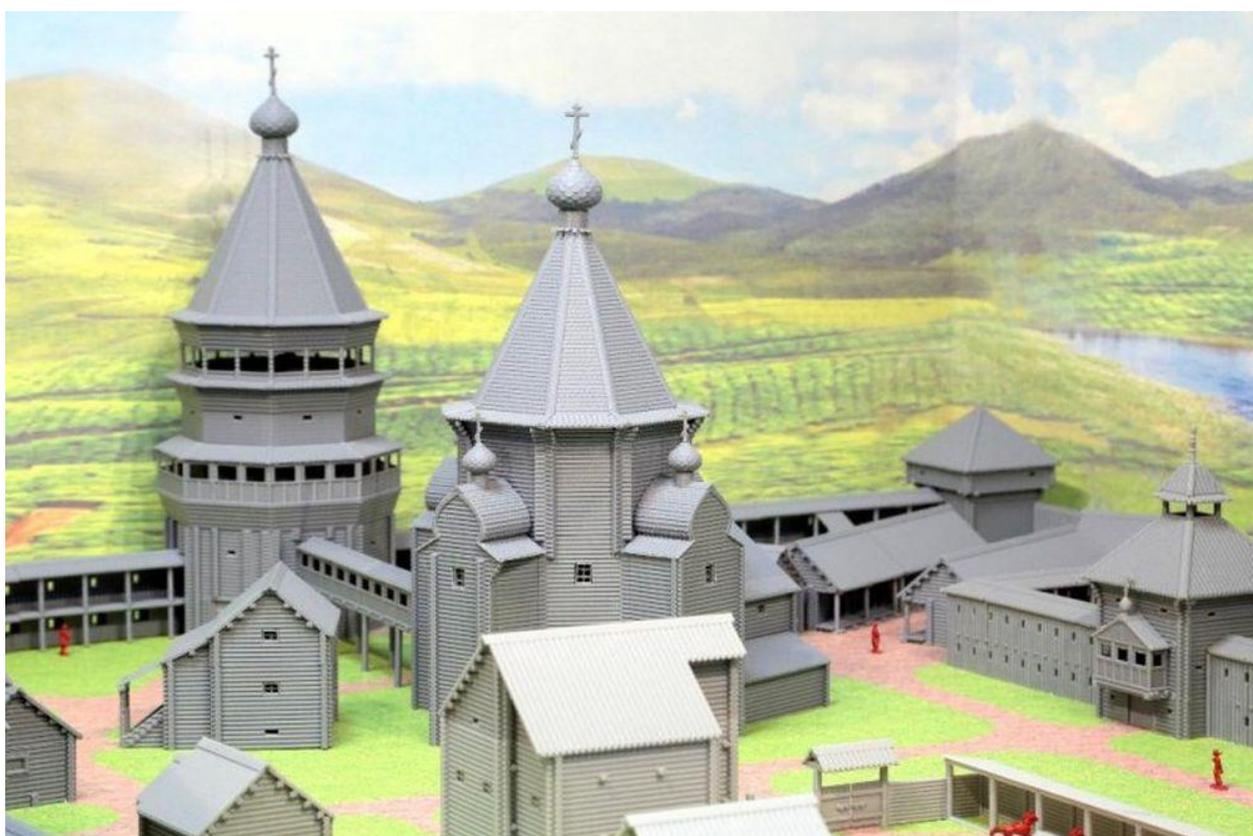


Рисунок 8 – Напечатанная модель Албазинского острога

Его работы по Албазинскому острогу включают анализ структуры укреплений, реконструкцию планировки внутренних построек и визуализацию этапов развития острога. Используя современные технологии, такие как фотограмметрия и 3D-моделирование, он стремится максимально точно воспроизвести облик сооружения, опираясь на сохранившиеся описания и аналогичные памятники XVII века. Эти исследования не только вносят вклад в сохранение исторической памяти, но и

служат основой для образовательных проектов, позволяя студентам и исследователям глубже погрузиться в контекст эпохи.

Подобные решения могут быть применены и к Албазинскому острогу в рамках более масштабных инициатив. Создание 3D-модели острога позволит не только восстановить его исторический облик, но и сделать его изучение более интерактивным и увлекательным. Например, пользователи смогут "пройти" по территории острога, рассмотреть укрепления, заглянуть внутрь жилых построек и даже "участвовать" в исторических событиях, таких как осады или переговоры с китайскими властями. Это особенно важно для образовательных целей, так как позволяет студентам и школьникам лучше понять исторический контекст и архитектурные особенности объекта.

Кроме того, цифровые модели могут быть легко обновляемы и дополняемы. Если в будущем появятся новые исторические данные или археологические находки, связанные с Албазинским острогом, их можно будет интегрировать в существующую модель, что сделает её ещё более точной и детализированной. Это выгодно отличает цифровые решения от традиционных музейных макетов, которые сложно изменить после их создания.

Таким образом, создание 3D-модели Албазинского острога, представляет собой важный шаг в сохранении и популяризации исторического наследия. Использование современных технологий позволяет преодолеть ограничения традиционных методов реконструкции и открывает новые возможности для исследования и образования. Цифровые модели не только воссоздают утраченные объекты, но и делают их доступными для широкой аудитории, способствуя сохранению памяти о важных исторических событиях и архитектурных достижениях.

2 МЕТОДИКА И ИНСТРУМЕНТЫ РАЗРАБОТКИ 3D-МОДЕЛИ АЛБАЗИНСКОГО ОСТРОГА

2.1 Общая схема решения задачи

Создание реалистичной трёхмерной реконструкции Албазинского острога 1685 года представляет собой сложный процесс, который включает несколько взаимосвязанных этапов, требующих междисциплинарного подхода. Данный процесс объединяет исторические исследования, архитектурное проектирование, цифровое моделирование и художественное оформление. Каждый из этих аспектов играет важную роль в формировании итогового продукта, который должен быть не только визуально убедительным, но и соответствовать исторической действительности.

Первый этап работы заключается в сборе и анализе исходных данных. В процессе исследования используются исторические источники, такие как архивные документы, план-схемы, чертежи, гравюры и рисунки той эпохи, для примера показана зарисовка из рукописного атласа, на котором изображены воскресенская церковь и колокольня (рис. 9).



Рисунок 9 – Картографический рисунок «Luosha» из рукописного атласа 17 века библиотеки Конгресса США

Важным элементом является изучение описаний очевидцев, мемуаров и других письменных свидетельств, которые могут содержать информацию о конструкции крепости, материалах и особенностях её возведения. Помимо текстовых источников, применяются археологические отчёты и данные современных раскопок, которые позволяют уточнить детали конструкции и расположение объектов внутри острога. Сопоставление всех этих данных даёт возможность сформировать представление о том, как выглядел Албазинский острог в период осады 1685 года. На основе полученной информации разрабатывается концептуальная модель будущей виртуальной реконструкции, в которой определяются основные опорные точки: местоположение и габариты стен, форма башен, размеры и внешний вид ворот, внутренняя планировка жилых и хозяйственных построек, а также прилегающая территория.

Следующим ключевым этапом становится создание базовой геометрии 3D-модели. Для этого используется выбранное программное обеспечение, позволяющее строить точные трехмерные объекты с учётом пропорций и реальных размеров. На этом этапе создаётся так называемая "цифровая болванка" – основная форма крепости, которая включает в себя ключевые конструктивные элементы. Первоначальная модель может быть выполнена в низкополигональном формате, поскольку основной задачей является выверка пропорций и общая компоновка сцены, пример низкополигональной модели здания показан на рисунке 10.



Рисунок 10 – Низкополигональная модель здания

Здесь важно учитывать не только размеры отдельных элементов, но и их взаимное расположение, а также логику организации пространства внутри острога.

Для повышения точности используются справочные изображения и схемы, а также данные о строительных методах, характерных для деревянных крепостей XVII века.

После завершения работы над базовой геометрией начинается процесс детализации модели. Этот этап включает в себя проработку архитектурных элементов, добавление конструктивных особенностей, а также создание второстепенных объектов, таких как деревянные мостки, лестницы, заборы, хозяйственные постройки и внутренние дворы. Для увеличения реалистичности могут быть добавлены следы износа, повреждения конструкций, неровности деревянных поверхностей и другие мелкие детали, придающие модели аутентичность.

На следующем этапе создаётся UV-развёртка модели. Этот процесс необходим для корректного нанесения текстур, которые обеспечивают визуальную правдоподобность материалов, пример UV-развертки показан на рисунке 11.

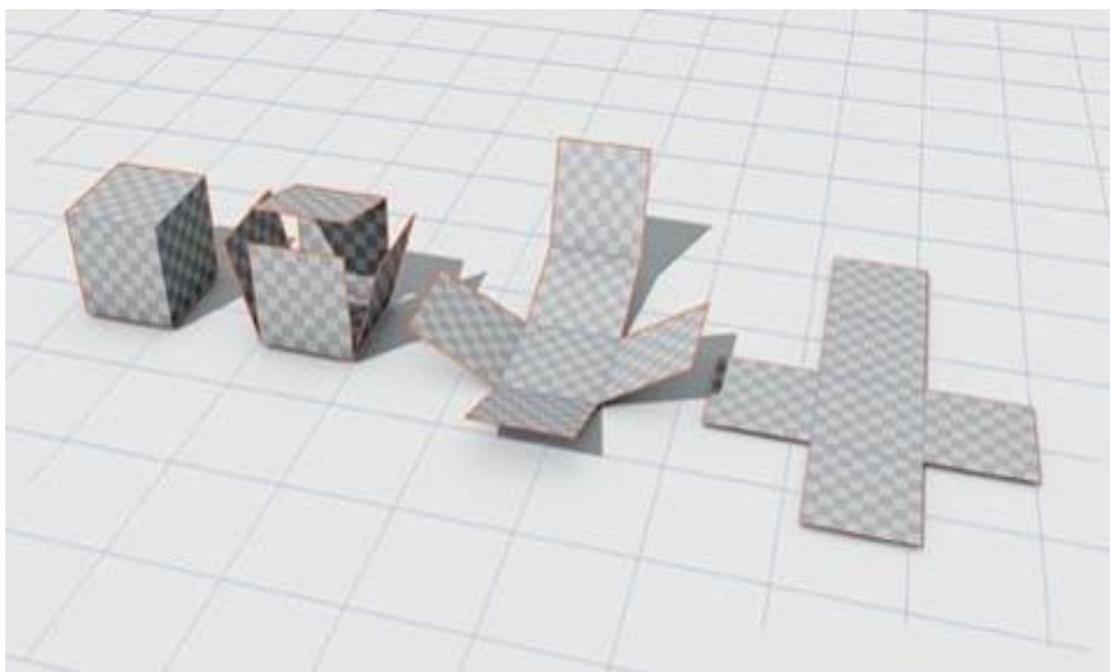


Рисунок 11 – Пример UV-развертки

UV-развёртка представляет собой "разворачивание" трёхмерной поверхности объекта в плоское пространство, что позволяет равномерно распределить текстуры без растяжений и искажений. Грамотная развертка важна не только для качества отображения текстур, но и для оптимизации производительности, особенно

если модель будет использоваться в реальном времени, например, в игровых движках или VR-проектах. В процессе работы важно избегать наложения текстурных элементов друг на друга, а также корректно масштабировать и распределять текстурные карты, чтобы добиться максимальной визуальной детализации.

Финальным этапом создания 3D-модели становится наложение текстур и материалов, настройка освещения и финальный рендеринг. Текстурирование играет ключевую роль в передаче визуальных характеристик материалов, таких как древесина, металл, камень, кожа и текстиль. Для острога особое значение имеют деревянные поверхности, которые должны отражать особенности обработки дерева в XVII веке, включая следы топора, неровности, потемнения от времени и воздействия окружающей среды, пример наложения текстур показан на рисунке 12.



Рисунок 12 – Пример наложения текстур дерева на 3D модель

Также важно учитывать, что в условиях длительной осады некоторые элементы крепости могли подвергаться дополнительному разрушению, что следует отразить в визуальном представлении модели.

Настройка освещения – важный элемент финальной сцены, поскольку от него зависит, насколько реалистично будет выглядеть модель в итоговой визуализации.

Свет может имитировать естественные условия (дневной, утренний, закатный свет) или же искусственные источники освещения, если реконструкция предполагает моделирование ночных условий. Использование физических моделей освещения (например, Global Illumination и Ray Tracing) позволяет добиться правдоподобного взаимодействия света с поверхностями.

После всех этапов создаётся финальный рендер, который может быть представлен в статическом изображении или в формате анимации. В некоторых случаях используется дополнительная постобработка, включающая корректировку цвета, добавление эффектов атмосферного рассеивания, улучшение резкости и контраста. Если модель предназначена для интерактивного использования, она может быть экспортирована в игровой движок (например, Unity или Unreal Engine), что позволит пользователям самостоятельно исследовать виртуальную реконструкцию Албазинского острога.

Таким образом, процесс создания 3D-модели Албазинского острога является многоэтапным и требует комплексного подхода. Он включает в себя исследовательскую подготовку, создание геометрии, детализацию, работу с UV-развёрткой, текстурирование, настройку освещения и финальную визуализацию. Совокупность всех этих шагов позволяет получить исторически достоверную и визуально качественную реконструкцию, которая может использоваться для научных, образовательных и музейных целей.

2.2 Обзор профильного программного обеспечения

Процесс создания реалистичной 3D-модели исторического объекта, такого как Албазинский острог 1685 года, требует использования специализированного программного обеспечения, охватывающего все этапы разработки. Современные технологии позволяют моделировать архитектурные объекты с высокой степенью детализации, текстурировать их, применять фотореалистичные материалы и освещение, а также производить финальный рендеринг с использованием передовых алгоритмов визуализации. Выбор программных решений во многом определяется задачами проекта, доступными инструментами и предпочтениями разработчиков. Основные категории программного обеспечения, применяемого при создании 3D-

моделей, включают системы для трехмерного моделирования, инструменты для работы с UV-развертками, средства текстурирования, а также рендер-движки.

Одним из ключевых этапов создания виртуальной реконструкции является 3D-моделирование, которое требует выбора удобного и функционального инструмента. Среди наиболее популярных программных решений для работы с трехмерной графикой выделяются Autodesk 3ds Max (рис. 13) и Blender.

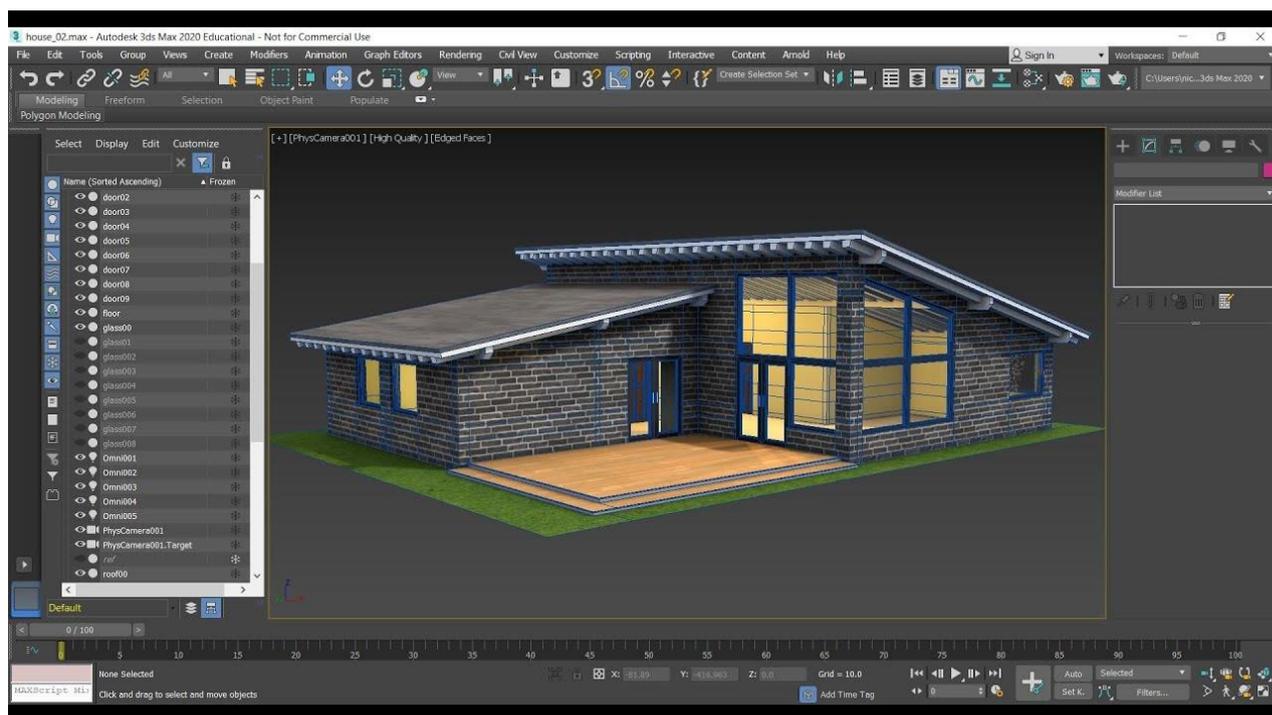


Рисунок 13 – Рабочая область программы Autodesk 3ds Max

Autodesk 3ds Max – профессиональное программное обеспечение, используемое в архитектурной визуализации, игровой индустрии и кино. Оно предоставляет широкий набор инструментов для полигонального моделирования, параметрических объектов, скульптинга, анимации и симуляции физических эффектов. Одним из ключевых преимуществ 3ds Max является развитая экосистема плагинов, расширяющих его возможности. Программа широко применяется для работы с реалистичными архитектурными сценами, позволяя создавать сложные исторические реконструкции.

Blender – мощная бесплатная альтернатива 3ds Max с открытым исходным

кодом. Разработанный международным сообществом, этот инструмент обладает всеми необходимыми возможностями для профессионального 3D-моделирования, включая продвинутый скульптинг, поддержку физических симуляций, анимации и рендеринга. Blender (рис. 14) активно используется в исторических реконструкциях благодаря своей гибкости и широкому выбору инструментов для работы с геометрией. Важной особенностью является встроенный рендер-движок Cycles, который позволяет визуализировать сцены с физически корректным освещением.

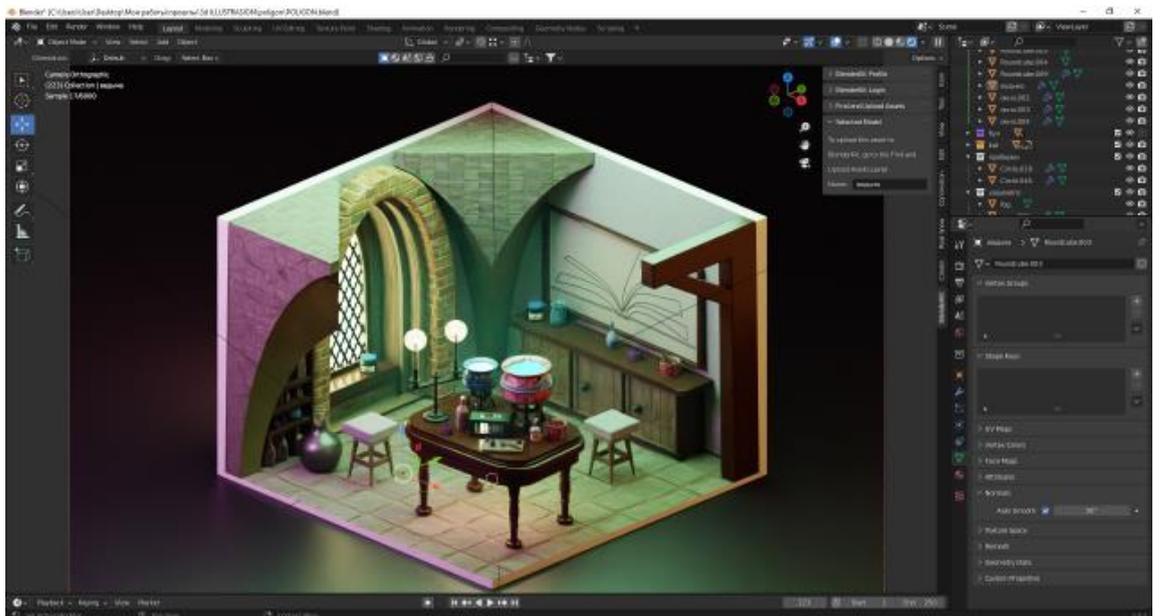


Рисунок 14 – Рабочая область программы Blender

Дополнительными инструментами, которые могут использоваться на этапе моделирования, являются SketchUp, Maya и ZBrush.

SketchUp представляет собой инструмент, ориентированный на архитектурное моделирование и разработку концептуальных моделей зданий и сооружений.

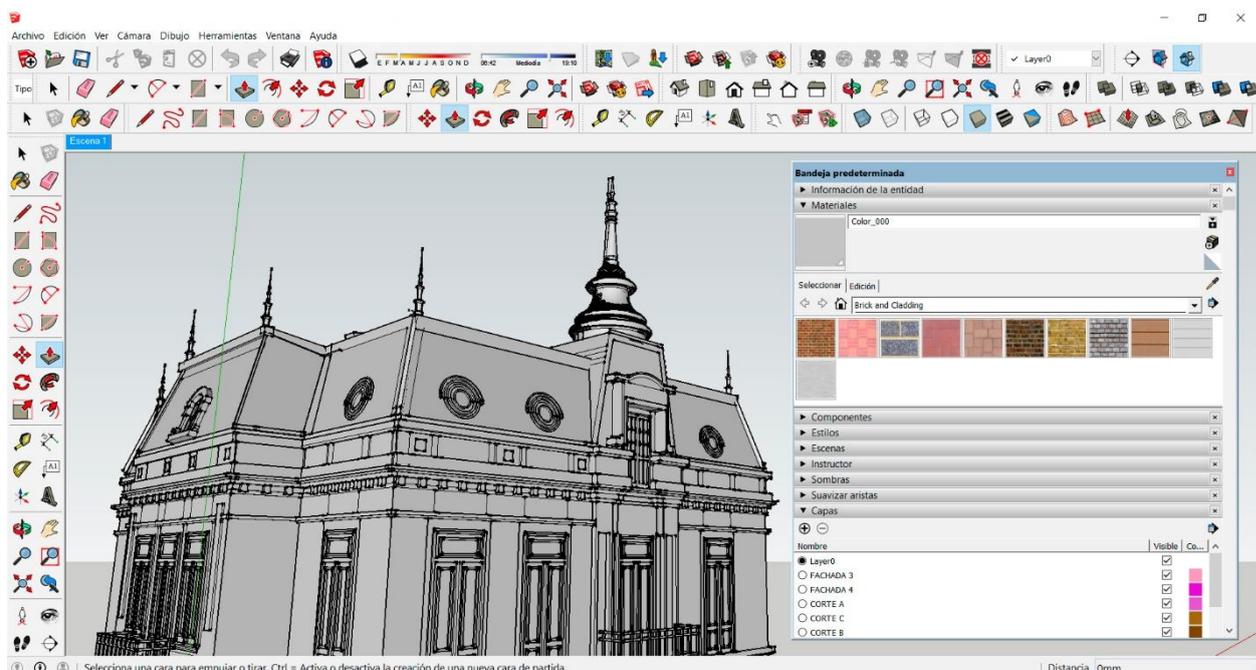


Рисунок 15 – Рабочая область программы SketchUp

Программа широко применяется в строительстве, ландшафтном дизайне и градостроительстве благодаря интуитивно понятному интерфейсу и удобным инструментам для работы с геометрией. Одним из ключевых преимуществ SketchUp является возможность быстрого создания чертежей и 3D-моделей с высокой точностью пропорций, что особенно важно при реконструкции исторических объектов, таких как Албазинский острог. Однако его функциональность ограничена при работе с детализацией, поскольку базовые инструменты программы ориентированы на создание упрощённых моделей. Для работы с высокодетализированными объектами требуется установка дополнительных плагинов, а также интеграция с другими программными решениями, такими как 3ds Max или Blender. Несмотря на эти ограничения, SketchUp может быть полезным на этапах концептуального проектирования, поскольку позволяет быстро сформировать общее представление о структуре крепости и её основных элементах.

Autodesk Maya (рис. 16) является одним из наиболее мощных инструментов для 3D-моделирования и анимации, широко используемым в индустрии кинопроизводства, видеоигр и визуальных эффектов. В отличие от SketchUp, Maya обладает значительно более широкими возможностями для создания сложных 3D-моделей,

включая продвинутые инструменты скульптинга, процедурного моделирования и симуляции физических эффектов.

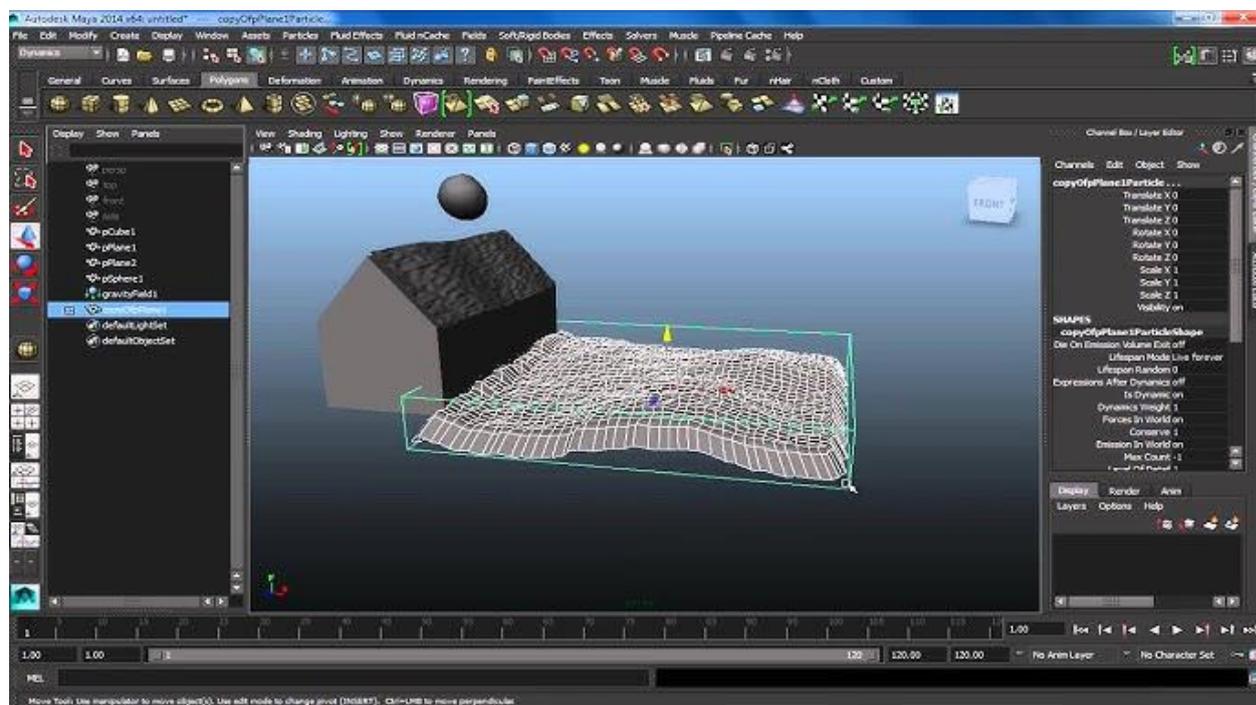


Рисунок 16 – Рабочая область программы Autodesk Maya

В контексте реконструкции Албазинского острога Maya может быть использована для создания детализированных архитектурных элементов, а также для работы с анимацией, если проект предполагает интерактивную демонстрацию крепости. Важным преимуществом Maya является её гибкость и возможность точной настройки параметров геометрии, что позволяет воссоздавать исторические объекты с высокой степенью достоверности. Однако программа имеет сложный интерфейс и требует значительного времени на освоение, что делает её менее удобной для начинающих пользователей. Кроме того, стоимость лицензии Maya довольно высока, что может ограничивать её использование в образовательных и некоммерческих проектах.

ZBrush (рис. 17) представляет собой специализированный инструмент для цифрового скульптинга, предназначенный для создания детализированных органических форм.

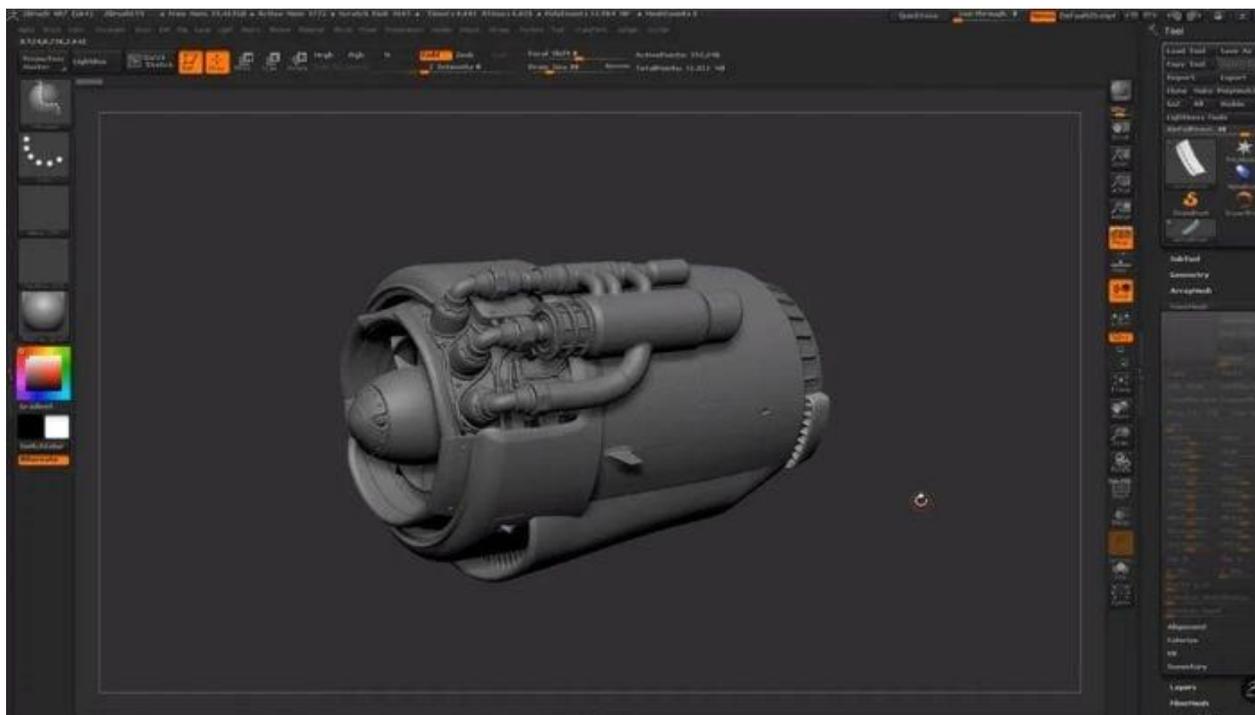


Рисунок 17 – Рабочая область программы ZBrush

В отличие от 3ds Max и Blender, где моделирование осуществляется с помощью полигональных примитивов и вершинных сеток, ZBrush использует уникальную технологию работы с цифровой глиной, позволяя художникам вручную лепить сложные формы с высокой точностью. Это делает программу незаменимой для создания декоративных элементов, таких как деревянные резьбы, украшения фасадов зданий и другие сложные архитектурные детали. В контексте реконструкции Албазинского острога ZBrush может применяться для создания реалистичных текстур деревянных стен, отображения следов обработки древесины инструментами XVII века, а также моделирования декоративных деталей, характерных для русских крепостей того периода. Однако у программы есть определённые ограничения: её сложно использовать для работы с точной геометрией, а обработка больших сцен с множеством объектов требует высокой производительности компьютера. Кроме того, ZBrush не предназначен для архитектурного моделирования, поэтому его лучше использовать в связке с другими 3D-редакторами, такими как Blender или 3ds Max.

Таким образом, каждая из этих программ имеет свои сильные и слабые

стороны, и их выбор зависит от специфики задачи. SketchUp может быть полезен для быстрого прототипирования и создания базовой структуры крепости, Autodesk Maya подходит для работы с детализированными моделями и анимацией, а ZBrush является мощным инструментом для цифрового скульптинга и проработки сложных декоративных элементов.

Несмотря на разнообразие программного обеспечения для 3D-моделирования, текстурирования и рендеринга, Blender представляет собой наиболее оптимальное решение для реконструкции Албазинского острога 1685 года благодаря своей доступности, универсальности и мощному функционалу.

Одним из главных преимуществ является открытый исходный код и бесплатность, что делает программу доступной без необходимости приобретения дорогостоящих лицензий. В отличие от Autodesk 3ds Max и Maya, требующих значительных финансовых затрат, Blender позволяет реализовывать сложные проекты без ограничений, что особенно важно для образовательных и исследовательских целей.

Blender включает полный набор инструментов для работы со всей цепочкой 3D-производства. В отличие от SketchUp, который удобен для создания архитектурных форм, но ограничен в детализации, Blender позволяет прорабатывать не только общую структуру, но и сложные декоративные элементы. ZBrush, ориентированный исключительно на скульптинг, требует интеграции с другими программами, тогда как Blender объединяет возможности как органического, так и технического моделирования.

Значительным преимуществом является интегрированный рендер-движок Cycles, который использует Path Tracing для физически корректного освещения и реалистичной визуализации. В отличие от V-Ray или Arnold, требующих отдельной лицензии, Cycles поддерживает GPU-ускорение, что значительно ускоряет процесс рендеринга.

Blender также предоставляет гибкие инструменты текстурирования, включая процедурные материалы и поддержку PBR-технологий. Это делает его удобным для проработки деревянных поверхностей, характерных для русских крепостей XVII века, без необходимости использования сторонних решений. Развитая

система дополнений и активное сообщество разработчиков обеспечивают постоянное улучшение функционала, а наличие большого количества обучающих материалов упрощает освоение программы.

Таким образом, Blender является оптимальным выбором для исторической реконструкции, поскольку объединяет в себе универсальность, мощные инструменты моделирования и текстурирования, поддержку физических симуляций и удобство работы в одной среде. В отличие от коммерческих решений, требующих дополнительных затрат и сложной интеграции, Blender позволяет выполнить весь процесс создания модели в одном программном обеспечении, обеспечивая высокий уровень детализации и реалистичности.

Использование этих инструментов в сочетании с другими программами для 3D-моделирования, текстурирования и рендеринга позволяет достичь высокой реалистичности реконструкции Албазинского острога и создать достоверное виртуальное представление этого исторического объекта. Для того чтобы текстуры корректно отображались на 3D-объектах, необходимо создать UV-развертку – проекцию трехмерной поверхности на двумерное пространство. Этот процесс особенно важен при работе с архитектурными моделями, поскольку ошибки в UV-развертке могут привести к искажению текстур.

Многие программы для 3D-моделирования (например, 3ds Max и Blender) имеют встроенные инструменты для работы с UV-развертками, однако в ряде случаев для сложных объектов требуется специализированное программное обеспечение. Среди таких инструментов выделяются RizomUV (рис. 18) и UVLayout (рис. 19).

RizomUV – это мощное решение для создания высококачественных UV-карт. Оно позволяет автоматически разрезать сложные поверхности, минимизировать искажения и равномерно распределять текстуры. Программа особенно полезна при работе с крупными архитектурными объектами, такими как стены, крыши и башни.

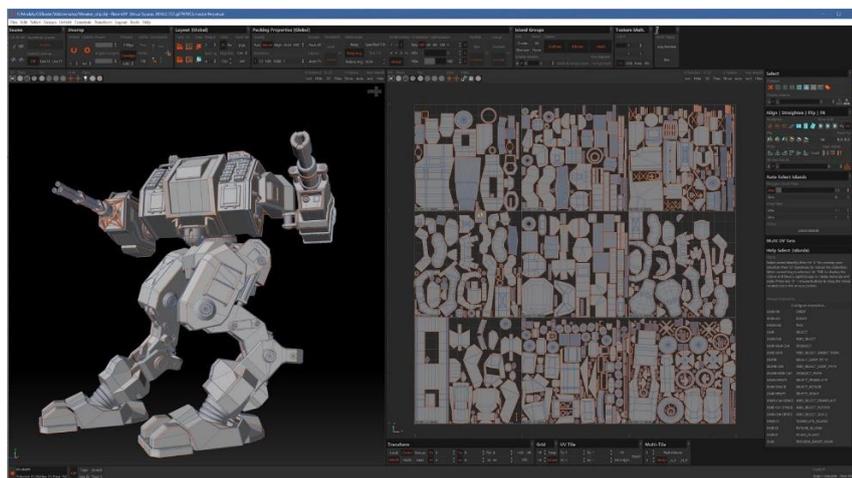


Рисунок 18 – Рабочая область программы RizomUV

UVLayout – ещё один инструмент для профессиональной работы с UV-развёртками. Он предлагает интуитивно понятный интерфейс и удобные методы организации текстурных координат. Этот софт часто используется в игровой индустрии и кино, но также может быть полезен при реконструкции исторических зданий.

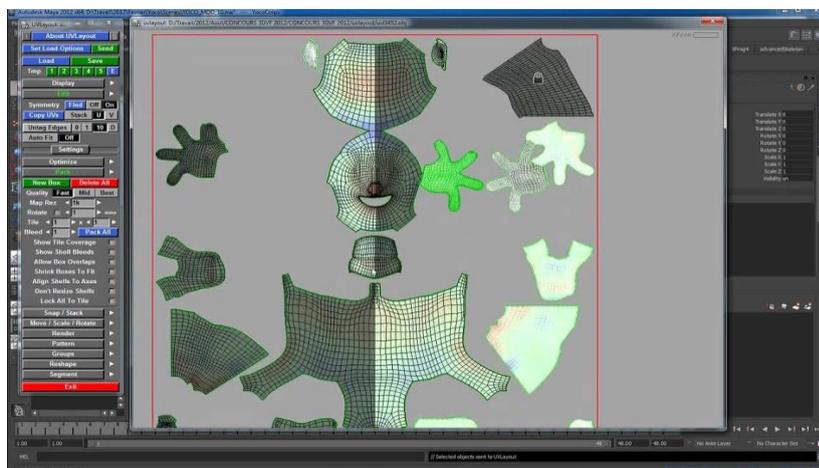


Рисунок 19 – Рабочая область программы UVLayout

Создание качественной UV-развёртки позволяет добиться фотореалистичного отображения материалов, а также оптимизировать процесс текстурирования, что особенно важно при работе с крупными сценами.

После создания модели и её UV-развёртки следующим этапом является текстурирование. Этот процесс заключается в наложении фотореалистичных материалов, симулирующих свойства различных поверхностей, таких как дерево, камень,

металл и земля.

Substance Painter (рис. 20) является одним из самых популярных инструментов для создания PBR-текстур (Physically Based Rendering). Он позволяет в реальном времени наносить текстуры на 3D-модели, использовать слои и маски, а также добавлять эффекты загрязнения, следы износа и ржавчину. Это делает его идеальным инструментом для создания реалистичных материалов, которые могут использоваться в архитектурных реконструкциях.



Рисунок 20 – Рабочая область программы Substance Painter

Adobe Photoshop также часто применяется для редактирования текстурных карт. Он позволяет ретушировать изображения, создавать бесшовные текстуры и работать с картами нормалей. В сочетании с 3D-редакторами Photoshop может использоваться для подготовки дополнительных карт, таких как карты шероховатости, отражения и смещения.

Quixel Mixer и Mari являются альтернативными инструментами для текстурирования. Quixel Mixer позволяет комбинировать фотореалистичные текстуры с процедурными материалами, а Mari часто используется в кинопроизводстве благодаря своей способности работать с текстурами высокого разрешения.

Финальным этапом создания 3D-модели является её визуализация. Для этого используются рендер-движки, позволяющие просчитывать освещение, тени и отражения для получения фотореалистичных изображений.

V-Ray является одним из наиболее популярных рендер-движков. Он широко применяется в архитектурной визуализации благодаря высокому качеству освещения, гибким настройкам глобального освещения (GI) и поддержке реалистичных материалов. V-Ray интегрируется с 3ds Max, Maya и SketchUp, что делает его удобным выбором для работы с 3D-моделями исторических объектов.

Cycles, встроенный в Blender, использует технологию Path Tracing для создания реалистичного освещения. Он поддерживает физически корректные материалы и GPU-рендеринг, что ускоряет процесс визуализации. Cycles является отличным выбором для тех, кто работает в Blender и хочет добиться высокого качества без необходимости приобретать дополнительные плагины.

Другие популярные рендер-движки включают Arnold, Corona Renderer и Octane Render. Arnold применяется в киноиндустрии и анимации, Corona Renderer обеспечивает быструю визуализацию интерьеров и экстерьеров, а Octane Render использует GPU-ускорение для высококачественного рендеринга в реальном времени.

Для создания реалистичной модели Албазинского острога 1685 года оптимальным решением является использование связки нескольких программ. Blender или 3ds Max подойдут для моделирования, RizomUV поможет в создании точных UV-развёрток, Substance Painter обеспечит высококачественные текстуры, а V-Ray или Cycles позволят выполнить фотореалистичный рендеринг. Такой комплексный подход обеспечит максимальную точность и визуальную достоверность при воссоздании исторического объекта, позволяя представить его в наиболее аутентичном виде.

2.3 Детальная схема решения задачи

Разработка реалистичной трехмерной модели Албазинского острога представляет собой сложный процесс, требующий комплексного подхода, сочетающего исторические исследования, архитектурное проектирование, 3D-моделирование и

художественное оформление. Этот процесс включает в себя несколько ключевых этапов, каждый из которых требует использования специфических методик и инструментов для достижения максимальной точности и реалистичности.

Первым шагом является исследование исторических источников, необходимых для точного воссоздания архитектуры и планировки острога. Важно собрать максимально полные сведения о конструкции крепости, её размерах, материалах, методах строительства и особенностях фортификационной архитектуры того времени. Для этого анализируются письменные документы, архивные записи, описания очевидцев, карты и чертежи XVII века, а также данные современных археологических исследований. Особое внимание уделяется сопоставлению разных источников, поскольку описание одного и того же объекта может значительно варьироваться в зависимости от времени и контекста, в котором оно было составлено.

На данном этапе могут использоваться также аналогии с другими русскими острогами того же периода, сохранившимися лучше, чем Албазинский, а также изучение традиционных строительных методов, применяемых в деревянных фортификационных сооружениях Сибири XVII века. Взаимодействие с историками, архитекторами и реставраторами позволяет уточнить спорные моменты, выявить возможные ошибки в реконструкции и повысить уровень достоверности итоговой модели.

После завершения исторического анализа начинается процесс цифрового моделирования. Этот этап предполагает создание каркаса крепости в 3D-редакторе Blender. В первую очередь формируется ландшафт, если необходимо отразить особенности местности, на которой располагался острог. Рельеф играет важную роль в фортификационной архитектуре, так как мог влиять на расположение стен, ворот и защитных сооружений.

Далее строится основная геометрия крепости: стены, башни, ворота, жилые и хозяйственные постройки. На этом этапе внимание уделяется общей компоновке объектов, их пропорциям и точному масштабированию. Используются инструменты полигонального моделирования, позволяющие формировать крупные архитектурные формы с учетом логики строительства того времени.

Если проект ориентирован на научную достоверность, важно постоянно сверять созданную модель с архивными материалами и, при необходимости, вносить корректировки. Использование схем, чертежей и фотографий аналогичных объектов помогает уточнить расположение и размер деталей. Работа над базовой моделью также включает проектирование внутренних помещений, поскольку многие элементы конструкции крепости неразрывно связаны с её внутренним устройством.

После того как базовая форма крепости создана, начинается процесс детализации. На этом этапе добавляются мелкие архитектурные элементы, такие как деревянные балки, крыши, лестницы, оконные и дверные проёмы, ворота и башенные надстройки. Важно учитывать, что в XVII веке строительство велось в основном вручную, поэтому поверхности должны иметь характерные неровности, следы обработки дерева и естественное старение материалов.

Завершающим этапом работы с геометрией становится создание UV-развёртки, необходимой для корректного наложения текстур. UV-развёртка представляет собой двумерное представление трёхмерной поверхности модели, которое используется для нанесения текстур без искажений. Для сложных объектов, таких как крепостные стены с неровной древесной текстурой или крыши с черепицей, важно правильно разрезать и расположить UV-острова.

Процесс развёртки может выполняться с помощью встроенных инструментов 3D-редактора, но для более сложных задач используется специализированная программа RizomUV. Развёртка должна быть оптимизированной: минимизировать растяжения текстур, равномерно распределять детали и обеспечивать баланс между разрешением текстур и производительностью модели.

После завершения работы с геометрией и UV-развёрткой начинается этап текстурирования. Для передачи реалистичного внешнего вида объекта используются фотореалистичные текстуры, которые могут быть созданы вручную или взяты из библиотек (например, Quixel Megascans). Наиболее важными материалами в проекте являются древесина, камень, металл и земля, так как они составляют основу большинства конструкций острога.

Часто используется метод PBR-текстурирования (Physically Based Rendering), который позволяет добиться реалистичного взаимодействия света и материалов. В ходе текстурирования применяются карты:

- альbedo (Albedo) – базовая цветовая текстура;
- карта нормалей (Normal map) – создаёт эффект глубины без увеличения количества полигонов;
- шероховатость (Roughness map) – определяет степень отражения света поверхностью;
- металличность (Metalness map) – показывает, является ли поверхность металлической или диэлектрической;
- карта смещения (Displacement map) – физически изменяет геометрию модели для увеличения детализации.

Для работы с текстурами используется Substance Painter. Важно учитывать возраст и износ материалов, так как крепость подвергалась воздействию времени, климата и осадки.

Одним из финальных этапов является настройка освещения сцены и выбор рендер-движка для создания финальных изображений. Освещение играет ключевую роль в передаче реалистичности объекта, поэтому в проекте могут использоваться как статические источники света (имитация дневного солнечного света), так и динамические (например, свет факелов в ночное время).

Современные рендер-движки, такие как V-Ray, Cycles, Arnold или Corona Renderer, позволяют добиться фотореалистичного освещения, используя глобальное освещение, трассировку лучей и эффекты рассеивания света. При рендеринге учитываются параметры экспозиции, глубины резкости, атмосферных эффектов (например, тумана), что помогает создать достоверную картину окружающей среды. После рендеринга изображений или анимации модель может пройти этап постобработки. В графическом редакторе, таком как Adobe Photoshop или After Effects, корректируются цвета, контрастность, добавляются эффекты освещения, элементы окружения (деревья, небо, тени).

Если модель предназначена для использования в интерактивных средах

(например, в Unity или Unreal Engine), то на этом этапе проводится её оптимизация: уменьшение количества полигонов, использование карт LOD (Level of Detail), настройка коллизий и материалов в игровом движке.

Ниже на картинке представлена схема, которой можно описать процесс работы по созданию виртуального двойника Албазинского острога (рис. 21). Начинается всё с поиска рендера (исторического рисунка), чаще всего такие файлы представлены в формате «.jpg» «.png», после этого начинается процесс по созданию 3D-модели в Blender, сама программа создаёт файлы формата «.blend», но экспортируются в RizomUV они в формате «.obj», после создания UV-развёртки, модель и её развёртка экспортируются в программу Substance Painter в формате «.exported», в данной программе происходит наложение текстур на модель, по картам нормалей которые создаются вместе с UV-разверткой, после завершения наложения текстур, модель экспортируется в игровой движок Unreal Engine, для того чтобы программа нормально приняла готовую модель, она упаковывается специально под этот игровой движок, отдельно экспортируются текстуры в формате «.png» и отдельно сама модель в формате «.3D object», далее они соединяются в одно целое, в модель с текстурами.

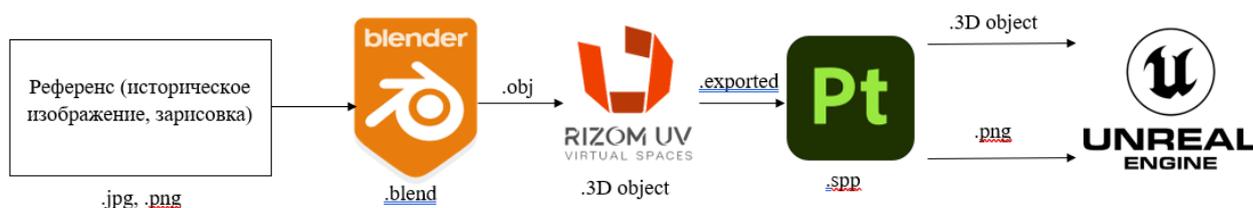


Рисунок 21 – Детальная схема решения задачи

Создание 3D-модели Албазинского острога 1685 года – это не просто процесс цифровой реконструкции исторического объекта, а сложный и многослойный подход к воссозданию архитектурного наследия с применением современных технологий. В результате проведённых исследований, работы с архивными источниками и технической реализации в программных средах удаётся добиться высокой

точности визуализации, что делает модель ценным инструментом для научных и образовательных целей.

Использование 3D-моделирования в исторической реконструкции открывает новые возможности для изучения и популяризации культурного наследия. Цифровые технологии позволяют не только представить облик крепости в тот период, когда она находилась в зените своей оборонительной значимости, но и создать возможность интерактивного взаимодействия с ней. Это особенно важно для музеев, образовательных платформ и исследовательских проектов, где визуальное представление объектов значительно облегчает восприятие информации и даёт возможность глубже погрузиться в изучаемый исторический период.

Кроме того, 3D-реконструкция может стать основой для дальнейшего развития проектов в области виртуальной реальности и дополненной реальности, где пользователи смогут исследовать крепость в формате интерактивных туров или даже воссоздавать сцены исторических событий.

Важным аспектом является и возможность дальнейшей модернизации модели. В будущем она может быть дополнена новыми деталями на основе свежих археологических данных, что позволит уточнять историческую достоверность реконструкции. Благодаря цифровому формату, изменения могут вноситься без необходимости полной переработки проекта, что делает его удобным для долгосрочного использования.

Таким образом, созданная 3D-модель становится не просто статичным изображением прошлого, а динамичным инструментом исследования, изучения и презентации исторического объекта. Это позволяет более глубоко осмыслить архитектурные и инженерные решения той эпохи, а также укрепляет связь между прошлым и современностью, предлагая новые способы изучения и сохранения культурного наследия.

3 ПОШАГОВАЯ РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ РУССКИХ И КИТАЙСКИХ УКРЕПЛЕНИЙ

3.1 Создание моделей русских сооружений

Разработка трёхмерных объектов, связанных с историческими событиями осады Албазинского острога, включает несколько этапов моделирования, которые охватывают как русские укрепления, так и сооружения, использованные китайской стороной. Детальная реконструкция предполагает создание строительных конструкций, жилых и временных построек, а также специфических земляных укреплений, характерных для той эпохи. На каждом этапе необходимо учитывать особенности материалов, технологию строительства и визуальные детали, отражающие культурные отличия обеих сторон конфликта.

Моделирование русских укреплений начинается с тщательного анализа исторических и археологических материалов, позволяющего определить точную структуру, размеры и форму Албазинского острога для примера, на рисунке 22 показана историческая зарисовка колокольни, которая при начале конфликта, стала частью ограды.

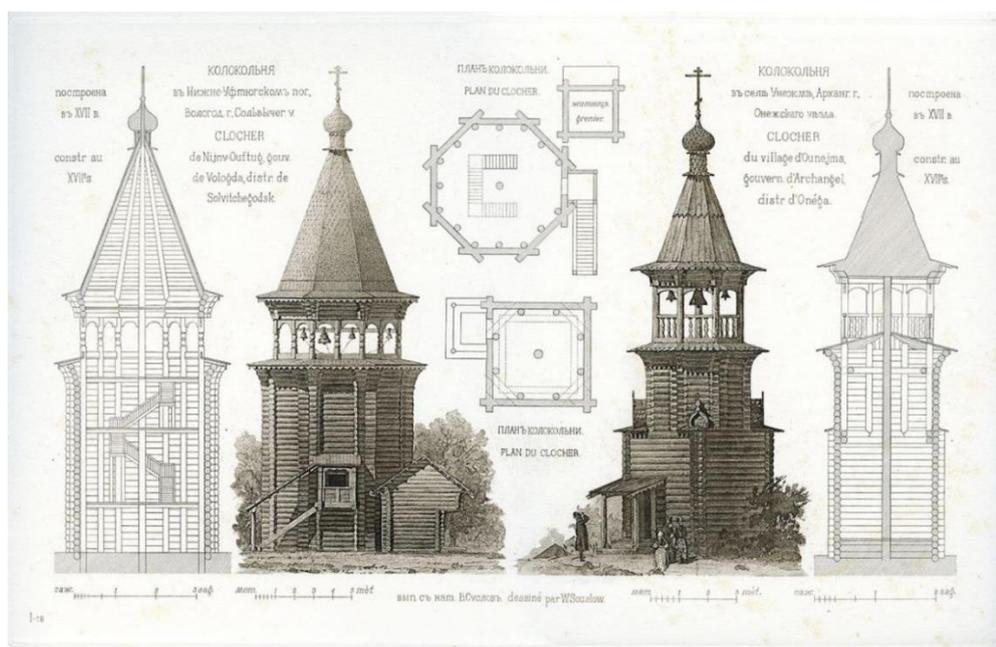


Рисунок 22 – План схема колокольни

В качестве исходного материала была взята ранее изготовленная модель Ал-базинского острога авторства Нацвина А.В, она показан на рисунке 23. Однако при более глубоком изучении данной модели были обнаружены существенные неточности и ошибки, касающиеся конфигурации стен, расположения и размеров башен, а также деталей внутренней застройки. Данные недостатки были выявлены путём сопоставления модели с историческими чертежами, архивными документами и рисунками эпохи, поэтому было принято решение произвести корректировку и доработку исходного материала.

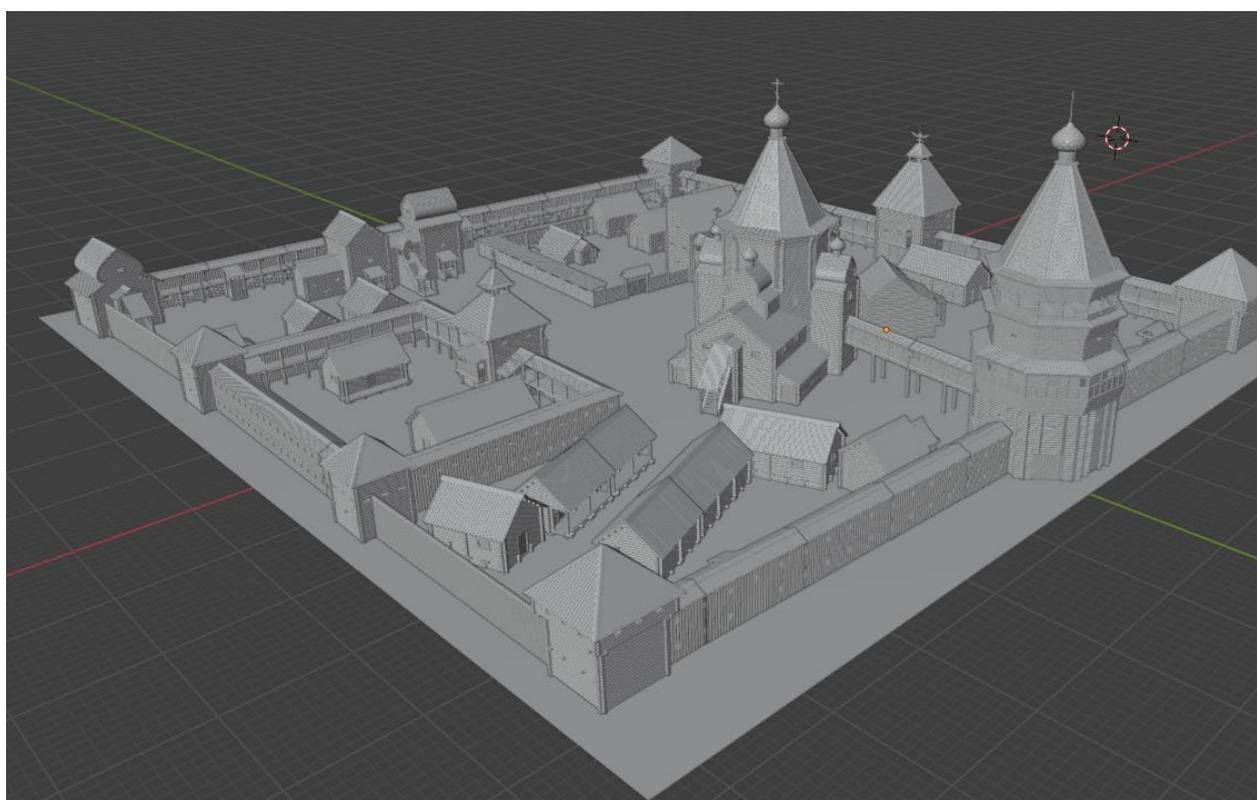


Рисунок 23 – Высокополигональная модель Нацвина А.В

При изучении чертежей, рисунков и иных письменных свидетельств особое внимание уделялось планировке крепости, точной конфигурации стен и башен, а также рациональному и исторически оправданному распределению внутреннего пространства. Кроме того, проведён подробный сравнительный анализ с другими аналогичными русскими укреплениями XVII века, что позволило точнее представить общие закономерности деревянного зодчества того времени. В результате

этих исследований удалось внести необходимые исправления в геометрию стен и башен, устранить обнаруженные неточности и привести модель в соответствие с историческими реалиями.

После исправления ошибок и уточнения общей структуры острога наступил этап создания более детализированной высокополигональной модели. Детальное изучение технологий ручной обработки древесины XVII века позволило воссоздать аутентичную фактуру бревенчатых конструкций. При этом были также учтены дефекты и повреждения, которые могли возникнуть в ходе реальной осады: следы обстрелов, ремонтных работ и естественного износа материалов от воздействия погодных условий.

По завершении основных укреплений началось моделирование внутренних построек: жилых домов, хозяйственных помещений, складов для продовольствия, канцелярии и других сооружений, которые были неотъемлемой частью жизнедеятельности русского гарнизона. Здесь опора на исторические данные и сохранившиеся примеры деревянной архитектуры позволила добиться высокой степени достоверности. Особое внимание уделялось созданию естественных дефектов и неровностей поверхностей, таких как трещины и сколы, подчёркивающих реалистичность объектов.

После формирования детальной высокополигональной геометрии объектов проводилось создание низкополигональных моделей путём ретопологии. Для выполнения этого этапа использовалась программа Blender и специальный аддон RetopoFlow, позволяющий быстро и точно переносить форму сложных объектов на более простую сетку. Для наглядной демонстрации этапов работы в качестве примера была выбрана колокольня, обладающая достаточно сложной геометрией и множеством мелких деталей. Изначально эта модель насчитывала 116651 вершину и 232054 треугольника, что делало её весьма высокополигональной и создавалось значительную нагрузку на систему при визуализации. На рисунке 24 представлена исходная форма колокольни, демонстрирующая, насколько детализированной была модель до начала оптимизации.

Выбор колокольни обусловлен её архитектурной сложностью, ведь данное

сооружение содержит разнообразные элементы, включая декоративные карнизы, окна, колокольные проёмы и крышу со сложной конфигурацией. Использование такого объекта в качестве примера наглядно показывает, как высокополигональные элементы могут быть переработаны в упрощённую версию без критической потери визуального качества. Впоследствии именно эта модель подверглась ретопологии, что позволило снизить общее количество полигонов, сохранив при этом ключевые особенности архитектуры и характерные очертания колокольни.

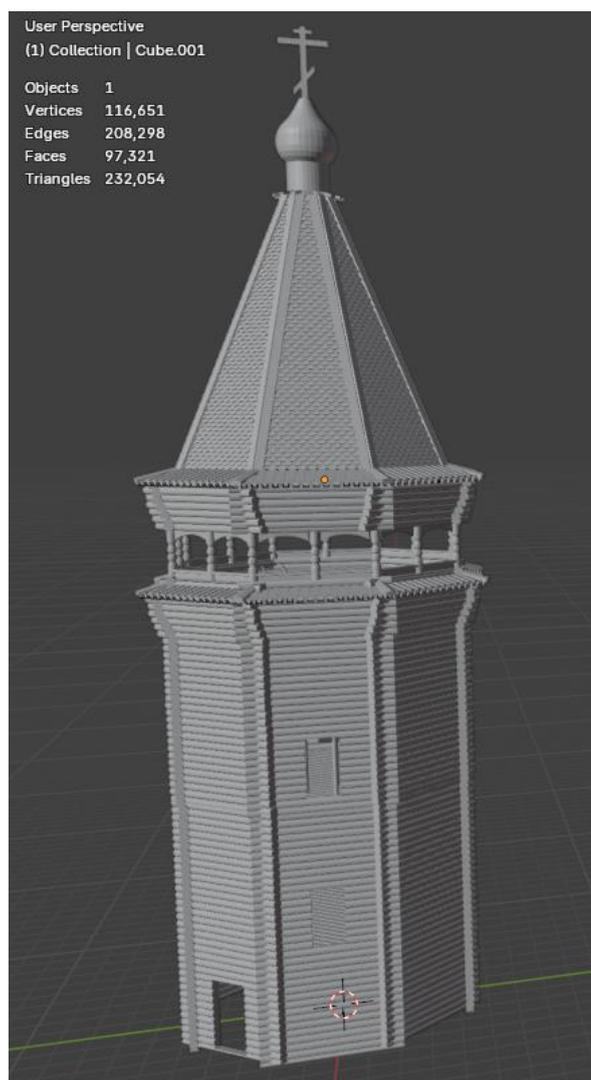


Рисунок 24 – Колокольня Албазинского острога

Перед тем как приступить к работе с аддоном RetopoFlow, было решено провести предварительную оптимизацию исходной модели, чтобы максимально снизить количество лишних вершин и треугольников. Внутренняя функция «Merge» в

Blender сыграла в этом процессе ключевую роль. Она автоматически ищет и объединяет все дублированные вершины на определённом расстоянии друг от друга. В результате подобной операции снижается общее число точек, которые впоследствии формируют треугольники, составляющие «полотно» геометрии.

Причиной появления значительного количества избыточных вершин послужили особенности нерационального моделирования на ранних этапах, а также использование некоторых встроенных модификаторов, ориентированных прежде всего на визуальный эффект. Например, некоторые модификаторы могут накладывать дополнительные детали или сглаживания, не всегда учитывая, что в структуре сетки при этом возникают дублированные точки или перекрывающиеся плоскости. Подобные особенности делают модель тяжелее и сложнее в обработке, особенно если впоследствии требуется провести ретопологию и создать низкополигональную версию.

С помощью операции «Merge» ненужные дубликаты вершин были исключены, что не только уменьшило общее число полигонов, но и позволило улучшить топологию перед использованием RetopoFlow. Это упростило процесс построения новой, более эффективной сетки, ведь при меньшем количестве вершин работа над ретопологией протекает быстрее, а итоговый результат получается аккуратнее. В конечном итоге оптимизируемая модель стала более лёгкой, сохранив при этом все ключевые очертания и общую форму, что значительно облегчило дальнейшее создание ретопологической «обёртки» и подготовку к запеканию карт высот и нормалей. Рисунок 25 позволяет наглядно оценить эффект, которого удалось добиться после выполнения команды «Merge». В результате операции общее число вершин в рабочем объекте уменьшилось на 3553, а треугольников на 2955. Это преобразование значительно упростило конфигурацию сетки и сделало модель более гибкой в дальнейшей работе. Дублированные точки, ранее незаметные при обычном осмотре, были автоматически объединены, что позволило сократить избыточные элементы геометрии и повысить общую эффективность проекта. Важным преимуществом является то, что такие изменения практически не влияют на внешний вид объекта, поскольку удаляются лишь точки, оказавшиеся дублирующимися на

минимальном расстоянии друг от друга.

Сокращение числа вершин и треугольников положительно сказалось на последующих этапах: при ретопологии, запекании карт и других процедурах, требующих стабильной и упорядоченной сетки, модель ведёт себя намного предсказуемее. В частности, вероятность артефактов при наложении текстур или создании новой «обёртки» для низкополигональной версии заметно снижается, а скорость операций повышается. Таким образом, данная оптимизация дала ощутимый прирост производительности и заложила надёжную основу для качественной дальнейшей проработки объекта.

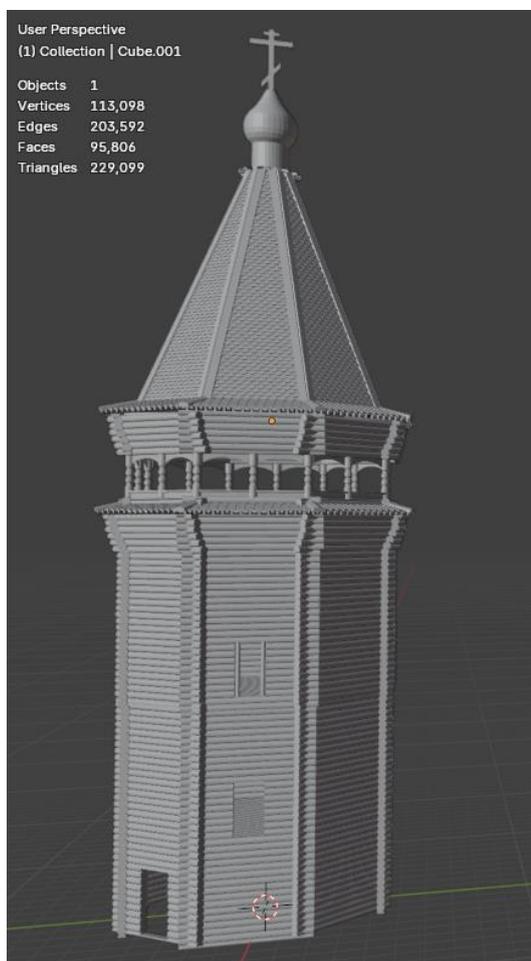


Рисунок 25 – Модель после объединения вершин

После оптимизации модели, посредством встроенных функций, начинается работа с аддоном RetopoFlow который представляет из себя набор специализированных инструментов для упрощения ретопологии в Blender, позволяющий более

удобно и гибко переводить сложные (обычно высокополигональные) объекты в оптимизированные низкополигональные версии. В сравнении с базовыми инструментами Blender, RetopoFlow предоставляет интерактивные способы «прорисовки» и корректировки новой сетки, что значительно ускоряет и упрощает процесс. Ниже приведён обзор основных функций аддона и их предназначение, описанный в форме связного текста без использования списков.

Одной из ключевых возможностей является Contours, ориентированный на создание лентоподобных полос (loops) с учётом формы исходной модели. Пользователь может проводить направляющие линии вдоль «рёбер» оригинального высокополигонального объекта, а RetopoFlow формирует сетку, распределяя вершины и рёбра таким образом, чтобы они точно повторяли очертания и кривизну поверхности. При этом есть возможность интерактивно управлять количеством сечений и плотностью сетки, подстраивая результат под нужный уровень детализации.

Для более свободного и точечного подхода существует инструмент PolyPen, позволяющий вручную «прокладывать» сетку непосредственно на поверхности исходной модели. Он работает по принципу карандаша (pen) для полигонов: пользователь указывает, где создавать вершины, как соединять их в рёбра и грани, и видит результат в реальном времени. PolyPen незаменим, когда требуется аккуратно обойти сложные контуры, избежать искажений или продумать особую топологию под дальнейшую анимацию.

Схожую задачу решает PolyStrips: данный механизм даёт возможность обозначать полосы (strips) на поверхности, а аддон автоматически формирует между ними полноценную сетку с плавными переходами и оптимальным числом полигонов. Интерактивные манипуляторы помогают настраивать ширину, кривизну и положение полос, добиваясь эффективной структуры будущей ретопологии. Обычно этот инструмент удобен, если нужно формировать непрерывные сегменты на моделях с выраженной вытянутой формой, например руках или ногах персонажа, либо объёмах, где важна ровность «поточности» сетки.

Отдельного упоминания заслуживает Surface, позволяющий «приклеивать» новую сетку к поверхности исходного объекта. При этом вершины и рёбра

создаются непосредственно на геометрии модели-референса, что помогает избежать артефактов: новая топология повторяет все изгибы и контуры. Работая в сочетании с возможностями PolyPen или PolyStrips, пользователь может с высокой точностью прорисовывать сетку даже на самых сложных участках.

Для более быстрого покрытия протяжённых или относительно плоских фрагментов существует режим Strokes: он даёт возможность «рисовать» линии прямо на исходном объекте, а RetopoFlow затем объединяет их в полноценную топологическую сетку. Этот инструмент бывает особенно полезен на ровных участках, где нужно создать сетку ровными рядами или сегментами, не прописывая вручную каждую грань.

Дополнительные операции, такие как Knife и Boundary, позволяют разрезать уже созданную сетку (Knife) либо работать с граничными рёбрами и закрывать отверстия (Boundary). При необходимости подправить форму есть Tweak – упрощённый аналог инструмента «Tweak» в самом Blender, однако с учётом поверхности референс-модели. Он даёт возможность «подтягивать» вершины, менять конфигурацию рёбер, выравнивать или, наоборот, слегка смещать элементы сетки, не отрывая их от базы, если включён режим привязки к геометрии.

В ходе ретопологии возникает потребность смягчать или, напротив, выпрямлять некоторые зоны, устраняя мелкие деформации. Для этого в RetopoFlow предусмотрен Relax: он равномерно распределяет вершины, сглаживая излишне плотные участки сетки. Результат оценивается в реальном времени, что позволяет сразу же видеть, как изменится геометрия и не произойдёт ли критических искажений контуров. Этот инструмент облегчает достижение равномерной плотности полигонов без «комков» и слишком растянутых участков.

Важную роль играет и система отображения (Display) внутри RetopoFlow: аддон предлагает удобный режим прозрачности и привязки, позволяющий пользователю видеть как «сквозь» исходную модель, так и реальную сетку нового объекта. Это упрощает понимание, где именно находятся вершины, рёбра и полигоны, а также помогает избежать наложения слоёв. Кроме того, RetopoFlow запоминает настройки камеры и проекцию, благодаря чему можно быстро переключаться

между различными точками обзора, не теряя ориентиры ретопологии.

Завершает процесс запекание (Bake), хотя в самом RetopoFlow оно обычно не производится. Как только сетка создана, пользователь может перейти в основной режим Blender или в сторонние приложения (Substance Painter, Marmoset Toolbag и т.д.) для финального переноса деталей с высокополигональной геометрии на полученную низкополигональную сетку. Тем не менее, именно благодаря возможностям RetopoFlow пользователь получает аккуратную и оптимальную топологию, которая легко «принимает» карты нормалей, высот и прочие текстурные карты.

В итоге RetopoFlow даёт полный комплект инструментов, облегчающих ретопологию: от базовых операций прорисовки сетки до интерактивного сглаживания и контроля контура. Аддон значительно ускоряет процесс подготовки моделей для анимации, игр, виртуальной реальности и других областей, где требуется сочетать детализованный вид и высокую производительность.

На рисунке 26 представлен итог ретопологии, проведённой с помощью RetopoFlow, который позволил превратить модель с избыточным числом полигонов в упрощённый вариант с ровной и хорошо структурированной сеткой. Её геометрия теперь содержит всего 575 вершин и 962 треугольника, что наглядно демонстрирует, насколько значительно снизилась полигональная нагрузка по сравнению с исходным состоянием. Подобное уменьшение числа вершин и граней сохраняет ключевые очертания и пропорции, важные для дальнейших этапов, включая наложение карт нормалей и текстур, но при этом делает модель гораздо удобнее в работе.

Подобная трансформация отражает идею рациональной ретопологии: наглядно видно, как правильная организация сетки и оптимизация структуры объектов влияет на производительность и управляемость сцены. Даже при существенном сокращении полигонального состава модель остаётся визуально схожей с оригинальным референсом. Такой подход особенно ценен при подготовке объектов для игр, интерактивных презентаций или проектов виртуальной реальности, где важны баланс между реалистичностью и оптимальным использованием системных ресурсов.



Рисунок 26 – Низкополигональная модель колокольни

Когда низкополигональная модель окончательно сформирована, очень важно провести проверку ориентации нормалей, поскольку именно нормали отвечают за то, как поверхность будет взаимодействовать со светом и отображать материалы в трёхмерной сцене. Если некоторые полигоны имеют перевёрнутые нормали, их лица могут казаться полупрозрачными или освещаться некорректно, что портит общее впечатление и делает дальнейшую работу с моделью более затруднительной.

Эта процедура обычно выполняется сразу после ретопологии и предварительной оптимизации, когда модель приобретает окончательный вид, но ещё не прошла этап наложения UV-развёртки и текстур. В Blender или другом 3D-

редакторе пользователь просматривает сетку в режиме отображения нормалей и оценивает, нет ли участков, где стрелки нормалей направлены вовнутрь. Если такие места обнаруживаются, их полигональные элементы переворачивают или «флипают» вручную или с помощью автоматических функций, которые могут проверить и скорректировать направление нормалей за один проход.

При возникновении проблем с тенями, наличием тёмных пятен либо визуальными искажениями при рендере, зачастую первопричиной становятся именно неверно ориентированные нормали. Поэтому корректная проверка и выравнивание до начала последующих этапов (таких как UV-развёртка или запекание карт) даёт гарантию, что модель будет правильно взаимодействовать со световым потоком и все текстуры лягут ровно, без визуальных дефектов. В результате итоговый объект выглядит гармонично и обеспечивает качественную основу для дальнейших шагов производства. Низкополигональная модель колокольни, представленная на рисунке 27, демонстрирует результат корректной ориентации нормалей, благодаря чему поверхность отрисовывается без искажений и артефактов. Каждая грань отражает свет в соответствии с её физическим направлением, а иллюзия объёма и глубины сохраняется даже при низком количестве полигонов. Такое расположение нормалей особенно важно для достоверного рендеринга, ведь малейшие отклонения в их направлении могут привести к потемнению или чрезмерному свечению отдельных участков, вызывая нежелательные визуальные эффекты. Правильная ориентация нормалей также обеспечивает равномерное наложение материалов при дальнейшем текстурировании, позволяя добиться плавных переходов без заметных швов или просвечиваний.

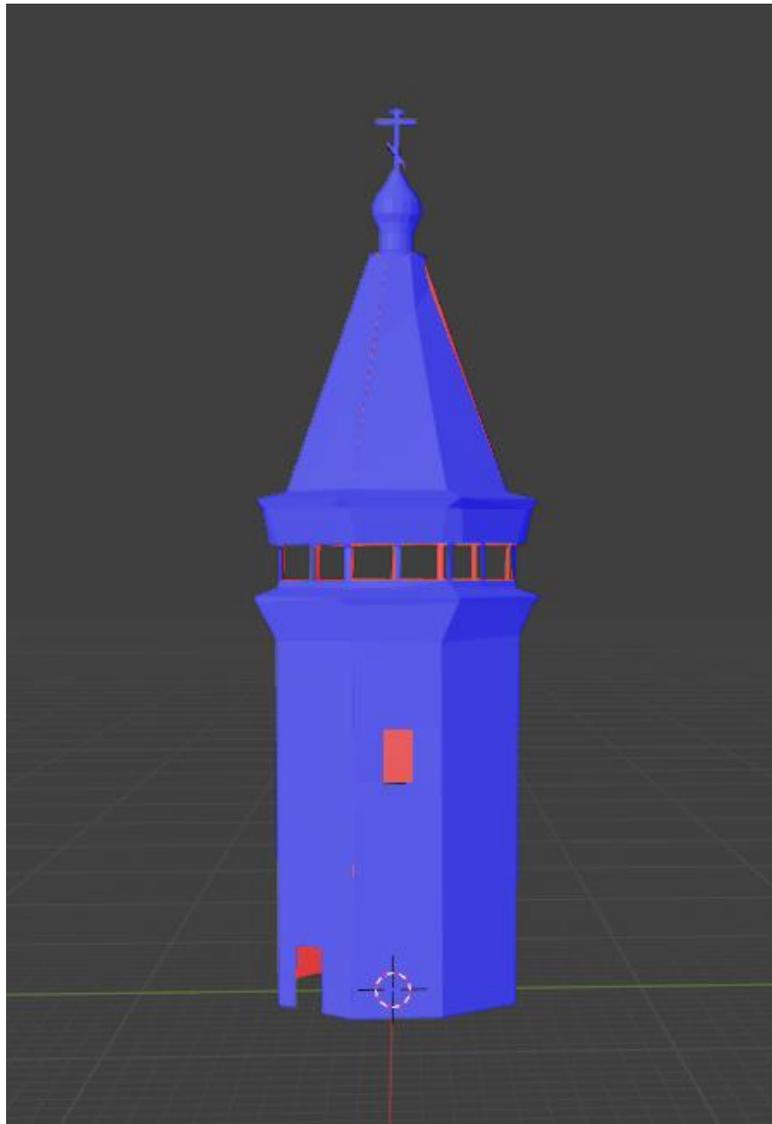


Рисунок 27 – Низкополигональная модель с ориентацией граней

Итогом стали две версии модели – исходная, высокополигональная, и низкополигональная, оптимизированная для дальнейших этапов текстурирования и интеграции в виртуальную сцену.

После завершения ретопологии в RetopoFlow и получения оптимизированной низкополигональной модели, следующим шагом стало создание корректной UV-развёртки. Для этой задачи использовалось специализированное программное обеспечение RizomUV, чьи инструменты позволяют аккуратно разделять поверхность объекта на отдельные «острова» (UV-острова) и точно располагать их в двумерном пространстве. Суть процесса заключается в том, чтобы текстуры в дальнейшем правильно обтягивали поверхность модели, без искажений или

неестественных переходов между швами.

Работа над UV-развёрткой начинается с импорта низкополигональной геометрии в RizomUV, где сначала анализируется общая структура модели и выбираются логические места для UV-швов. Этот выбор основан на особенностях формы объекта, возможности спрятать швы в менее заметных местах и необходимости избежать растяжения текстур. После определения основных разрезов программа автоматически разворачивает поверхность в плоскость, распределяя UV-острова в рабочем пространстве. Далее пользователь вручную корректирует положение и масштаб каждого острова, чтобы добиться равномерного разрешения (texel density) на всех участках.

Особое внимание уделяется минимизации растяжений и перекрытий. Для этого RizomUV предлагает средства визуализации степеней искажений, а также функции автоматической упаковки (packing), позволяющие максимально плотно и аккуратно распределить острова по UV-пространству. В результате получается развёртка, где каждый участок модели чётко соответствует своему фрагменту текстуры. Это упрощает дальнейшее наложение материалов и повышает качество итогового результата.

Когда UV-развёртка окончательно отрегулирована и проверена, модель готова к запеканию карт нормалей, высот или других типов карт, а также к полноценному текстурированию. Правильная организация UV существенно упрощает процесс наложения материалов, ведь при грамотном расположении швов и равномерном масштабе текстурные карты ложатся без заметных швов, искажения рисунка или резких переходов оттенков. Такой подход гарантирует максимально реалистичное отображение поверхности, даже если модель будет рассматриваться вблизи или находиться под разным углом освещения в финальной сцене. Пример развёртки низкополигональной модели колокольни показан на рисунке 28.

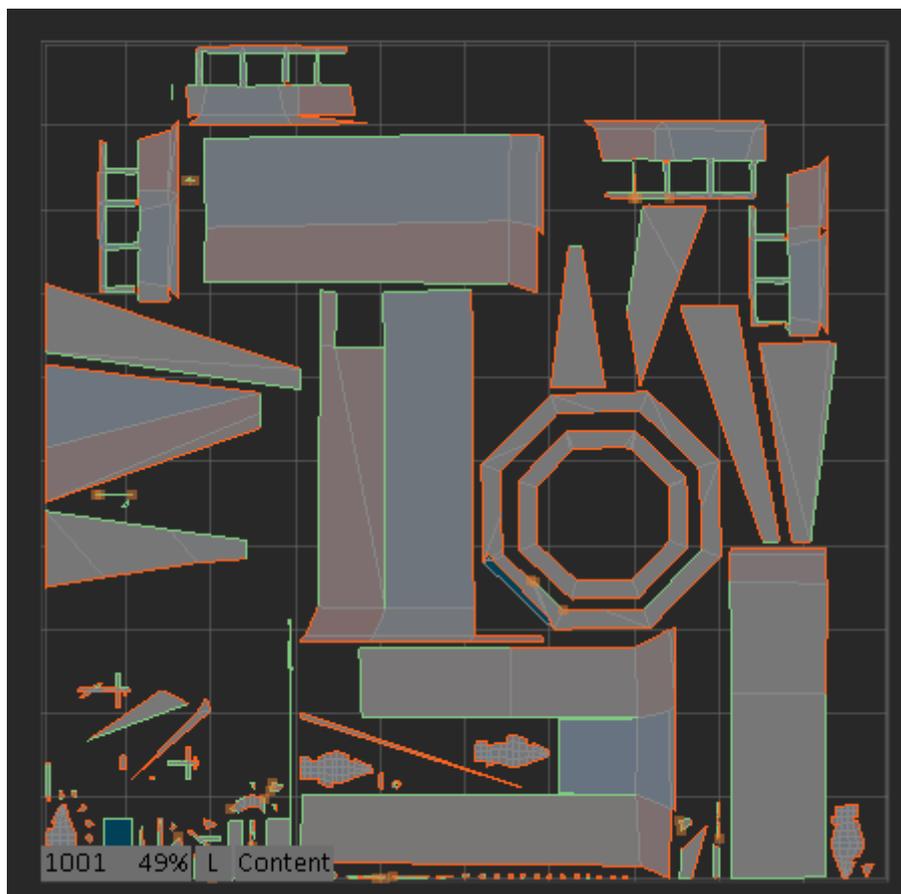


Рисунок 28 – UV-развертка модели

Для данной развёртки использовался метод развёртывания «Вох», потому что он самый оптимальный, поскольку форма сооружения преимущественно базируется на прямоугольных и кубических объёмах. Колокольня, как правило, состоит из вертикально вытянутых боковых стен, крыши с определённым углом наклона и нескольких проёмов, которые при упрощённом моделировании представляют собой геометрию, близкую к параллелепипеду. «Вох»-подход к развёртке подразумевает, что каждую стенку и скат крыши можно разворачивать как отдельную плоскость, а затем автоматически располагать эти участки UV-пространства в виде боковых граней куба. Такой способ минимизирует деформации, помогая разместить текстуры строго по плоскостям, не создавая видимых растяжений вдоль швов.

Кроме того, во многих случаях колокольни имеют ясное деление на вертикальные и горизонтальные участки, что ещё больше упрощает развёртку. «Вох»-метод рационально группирует области, где переходы между швами мало заметны: границы стен совпадают со стыками на самой модели, а крышу можно обработать

как отдельный набор граней. В результате карта UV получается более аккуратной, с чётко ограниченными зонами для каждой части колокольни, что облегчает последующее наложение текстур, будь то деревянные настилы, каменные плиты или металлические элементы. Такой подход обеспечивает ровную развертку без серьёзных искажений, а также ускоряет этап упаковки UV-островов, поскольку все грани чётко поддаются автоматическому распределению в прямоугольном формате.

Далее обе модели переносились в программу Substance Painter, где методом «запекания» на упрощённую геометрию были перенесены карты высот и детали рельефа с высокополигональной версии. Это позволило сохранить максимальную детализацию и визуальную убедительность даже при использовании моделей с низким количеством полигонов. На рисунке 29 изображён процесс запекания текстур, за основу берётся высокополигональная модель.

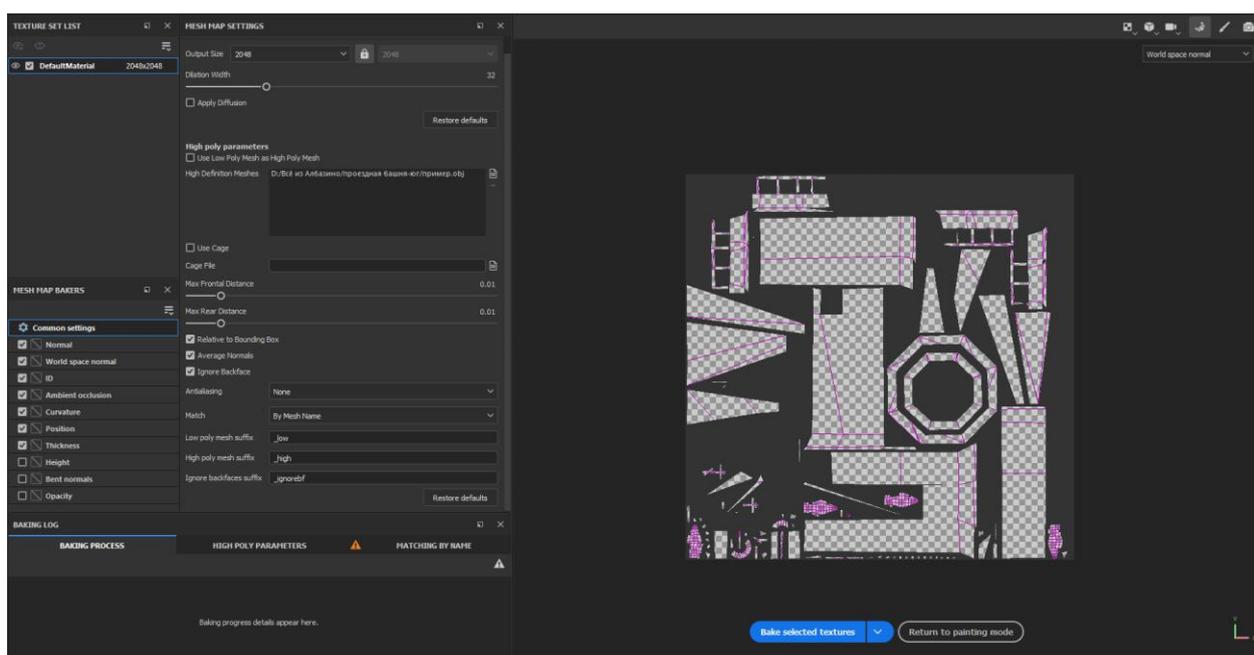


Рисунок 29 – Запекание модели в Substance Painter

В ходе текстурирования основной акцент был сделан на точной передаче структуры дерева и металла, а также создании эффекта естественного износа и старения материалов. Финальный штрих был достигнут благодаря настройке освещения сцены, отражающего условия осады, характерные для времени суток и

климатических условий, которые могли преобладать в регионе.



Рисунок 30 – Модель колокольни с текстурами

Завершающий тестовый рендер подтвердил качество исправленных моделей и позволил выявить и устранить оставшиеся незначительные недостатки. Таким образом, использование ранее созданной модели Нацвина А.В. в качестве исходного материала существенно ускорило процесс разработки, но благодаря глубокому историческому анализу и внимательному исправлению ошибок удалось получить значительно более точную и реалистичную реконструкцию. В результате был создан виртуальный объект, обладающий высокой исторической и визуальной достоверностью, пригодный для дальнейшего использования в образовательных,

научных и музейных проектах.

3.2 Создание моделей китайской армии

Моделирование объектов, связанных с китайской стороной, начинается с анализа исторических свидетельств об архитектуре и культуре армии, осаждавшей Албазин. Прежде всего изучаются описания лагерей, которые могли быть возведены для размещения воинов, а также художественные изображения и этнографические материалы, посвящённые традиционным видам тканей, орнаментов и декоративных элементов. Важную роль играет понимание того, каким образом были устроены временные постройки, ведь «палатки» рядовых воинов значительно отличались от шатров командиров. Создание базовой формы каждого такого сооружения предполагает учёт пропорций, свойственных тканевым конструкциям, а также технологии их возведения, которая могла включать деревянные или бамбуковые опоры и растяжки для закрепления внешнего полотна. На рисунке 31 представлена историческая зарисовка китайской палатки рядовых воинов, данный тип палаток составлял основную часть тыловых лагерей.



Рисунок 31 – Историческая зарисовка палатки рядовых воинов

На этапе моделирования палаток особое внимание уделяется тому, как

именно ткань прилегает к каркасу и формирует общий силуэт сооружения. Важно заранее продумать, где именно будут располагаться входные проёмы, позволяющие войти в палатку или шатёр, а также вентиляционные отверстия, обеспечивающие приток воздуха и предотвращающие чрезмерное скопление влаги внутри. В исторических сведениях встречаются упоминания о том, что такие отверстия могли закрываться специальными клапанами или дополнительными слоями ткани, чтобы защищать воинов от неблагоприятных погодных условий. При этом следует учитывать, что любые детали, закреплённые на каркасе – от опорных стоек до верёвок и колышков – могут создавать на ткани естественные складки, растяжки и провисания, которые делают модель более реалистичной.

Поскольку данные объекты в целом не требуют детальной проработки микрорельефа, возникающего, например, при ручной обработке материалов, целесообразно изначально проектировать палатки в низкополигональном формате. Такой подход снижает нагрузку на систему при использовании готовой модели в интерактивных приложениях, музейных VR-проектах или компьютерных играх. При создании каркаса упрощённая геометрия даёт возможность избежать излишней сложности, сохраняя при этом необходимый визуальный эффект лёгкой, натянутой ткани. В итоге даже при небольшом количестве полигонов можно чётко передать форму, складки и общую структуру палатки, а все нюансы, вроде потертостей или декоративных элементов, добавляются впоследствии с помощью текстур и карт нормалей.

По завершении моделирования базовых форм определяются те области, где материал может быть более растянут или, наоборот, провисать. Мягкие изгибы, возникающие между натянутыми краями и центральной осевой линией, придают палатке реалистичность. С той же целью уделяется внимание простым, но выразительным складкам в районе входных проёмов, которые чаще всего подвергаются механическому воздействию при постоянном открывании и закрывании. Кроме того, в зависимости от культурных особенностей или функциональных требований, некоторые палатки могут иметь дополнительные внутренние перегородки, ритуальные узоры или декоративные подвесы. Однако, поскольку модель сразу

создаётся в низкополигональном формате, все эти дополнительные элементы лучше представить как отдельные детали или нанести на карту текстур, не усложняя при этом базовую геометрию. Такая стратегия прекрасно зарекомендовала себя в исторических реконструкциях, когда ключевыми являются аутентичный силуэт и фактура, а не чрезмерный уровень детализации, который перегружал бы проект на раннем этапе. На рисунке 32 изображена модель базовой палатки воинов.



Рисунок 32 – Модель базовой палатки

Если в исторических записях упоминаются какие-либо особые черты, например, знаки или эмблемы, указывающие на воинский ранг, они должны быть отражены в геометрии и последующем текстурировании. Лёгкие платки, используемые рядовыми воинами, обычно отличались простотой раскроя, тогда как просторные шатры командиров могли иметь более сложную форму, украшенную дополнительными элементами. В Blender данная задача может быть выполнена с помощью специализированных инструментов и аддонов, позволяющих аккуратно перевести комплексную поверхность в облегчённую сетку при сохранении ключевых контуров и форм.

После завершения работы над базовыми палатками рядовых воинов,

возникла необходимость найти исторические материалы, позволяющие воссоздать более крупное и статусное укрытие, которое могло служить резиденцией командиров. При изучении архивных записей и зарисовок обнаружилось, что в ряде случаев в качестве полевых штабов использовались палатки, близкие к традиционным монгольским юртам. Подобные мобильные жилища отличались закрытой круговой формой, устойчивой к ветру и осадкам, а также наличием деревянного каркаса, состоящего из складных решётчатых элементов и центральных опор, поддерживающих верхний проём.

На рисунке 33 приведён один из исторических референсов, демонстрирующий внешний вид командирской палатки, где заметны толстые войлочные стены и несколько слоёв наружного покрытия, защищающего внутреннее пространство от непогоды. Нередко подобные шатры украшались декоративным узором вдоль верхней кромки и вокруг входа, а дверной проём мог иметь резные элементы или тканевую занавесь с орнаментом, подчеркивающим высокий статус владельца. Благодаря войлочной обшивке, способной сохранять тепло, внутри поддерживалась достаточно комфортная температура, а характерная круглая форма снижала парусность и делала конструкцию более устойчивой. Подобная архитектура органично вписывалась в военный лагерь, где не только обеспечивались условия для отдыха и совещаний, но и создавалась определённая символика власти, подчеркивающая роль хозяина шатра.

При моделировании такой «командирской» юрты воссоздаются основополагающие детали каркаса, который в развёрнутом виде представляет собой гибкие стенки-решётки (хана), опорные стойки, а также центральное кольцо в верхней части, служащее выходом дыма и окном для освещения. Выбранные материалы имитируют войлок или другое грубое текстильное покрытие, передавая естественные складки и места потертости, отражающие интенсивную эксплуатацию в условиях походной жизни. Дверь обычно делается несколько более монументальной, часто с декоративной оправой или резьбой. Такое сочетание функциональности и украшений говорит о высоком ранге хозяина и подчеркивает его статус в армии.

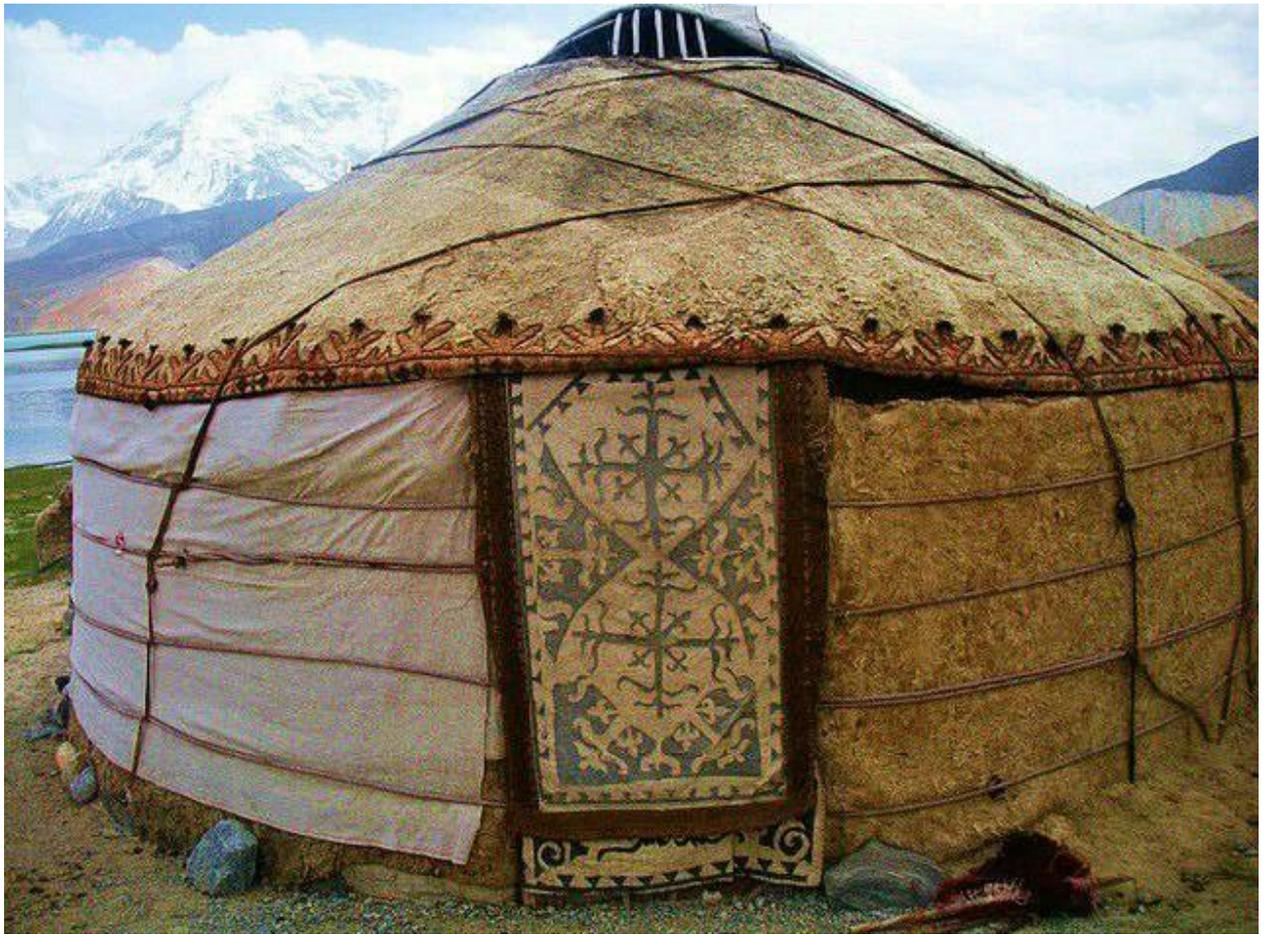


Рисунок 33 – Командирская палатка

Результат выполненной работы можно увидеть на рисунке 34, где представлена финальная версия модели командирской юрты. Сочетание плавных линий и симметрично расположенных опор, а также реалистичные складки ткани формируют убедительный образ походного жилища. Дополнительные детали, такие как усиливающие ленты, натянутые вокруг стен, и орнаментальные элементы в районе входа, дополняют историческую достоверность, не перегружая сетку избыточным числом полигонов. Такая модель подчеркивает отличие руководящего шатра от рядовых палаток и воссоздаёт культурные черты, связанные с традициями обустройства военных лагерей в данном регионе.



Рисунок 34 – Модель командирской палатки

Завершив работу над моделью шатра военачальника, команда обратилась к дополнительным историческим иллюстрациям и описаниям, в которых можно было найти информацию о более распространённых походных укрытиях. При сравнительном анализе выяснилось, что такие полевые шатёры отличались куда менее роскошным убранством и в целом имели упрощённую конструкцию, рассчитанную скорее на практичность и быстрое возведение. Подобные источники помогли установить, каким образом были устроены стойки, натяжные канаты, а также какие материалы использовались для наружного покрытия. Эти сведения оказались ценными для дальнейшего моделирования, так как позволили дополнить общую картину военного лагеря, подчеркнув контраст между богато оформленной палаткой командира и более скромными, но при этом массово распространёнными походными шатёрами.

На рисунке 35 показан походный шатёр командования.



Рисунок 35 – Пример походного шатра

После детального анализа архивных материалов и сведений о походных конструкциях выполнялся процесс трёхмерного моделирования временного укрытия. Технологические и стилистические особенности сооружения восстанавливались на основе описаний методик натяжения ткани, применения опорных стоек и декоративных элементов, обеспечивающих устойчивость и узнаваемый внешний вид. Важным моментом стало соблюдение формы и пропорций, характерных для военной культуры того исторического периода, где лёгкая и практичная конструкция объединялась с элементами цветных узоров.

На изображении 36 представлена итоговая визуализация полученного походного шатра, где различимы аккуратные складки ткани, ровные натяжные канаты и выразительная окантовка, подчёркивающая статус владельца. Подобная компоновка отражает принципы быстрой сборки и разборки, поскольку малое количество материалов и продуманная конструкция позволяли легко транспортировать сооружение к следующему месту стоянки. Тщательное соблюдение исторической

достоверности сочетается с практичностью и удобством, демонстрируя сочетание военной функциональности и определённой эстетики, характерной для культуры, создавшей такую форму мобильного жилья.



Рисунок 36 – Модель походного шатра

По завершении моделирования выполняется развертка UV, обеспечивающая точное наложение текстур на будущие палатки и шатры. В ходе этого процесса важно расположить все части модели таким образом, чтобы при наложении орнаментов, надписей или знаков отличия не возникало искажений. Текстурирование является решающим моментом в передаче атмосферы китайского военного лагеря, поскольку именно здесь формируются все нюансы цвета, фактуры и износа материала. Для рядовых «платков» могут применяться более скромные оттенки и простые узоры, отражающие утилитарный характер. Шатры командиров, напротив, часто украшались богатыми орнаментами или вышивками, указывающими на высокий статус владельца и его положение в воинской иерархии. Исторические иллюстрации, описания путешественников или отчёты миссионеров, возможно,

помогают воссоздать палитру цветов и мотивы узоров, распространённые в китайских армиях того времени.

Чтобы усилить реалистичность, дополнительно учитываются следы износа или повреждений от погодных условий. На ткани могут появляться потёртости, изменения цвета от солнца или прорывы, залатанные в полевых условиях. Такие детали подчеркивают подлинность сцен, в которых представлена жизнь солдат вдали от родных земель. Когда стадии моделирования и текстурирования завершаются, приступают к настройке освещения, которое может отражать различные условия, например утренний туман или палящее дневное солнце. Такие параметры влияют на восприятие материалов, подсветку декора и общую атмосферу лагеря. В финале выполняются тестовые рендеры, позволяющие обнаружить неточности, связанные с наложением узоров на швах, неправильным позиционированием декоративных элементов или недостаточным уровнем реалистичности тканей. Корректировка технических и художественных параметров происходит в этой завершающей стадии, чтобы модели китайских сооружений гармонично вписались в единый виртуальный ландшафт, отражающий исторические реалии эпохи. Этот комплексный подход даёт возможность наиболее полно показать различия между простыми укрытиями рядовых воинов и богато украшенными шатрами военачальников, при этом сохраняя аутентичный облик лагеря и подчёркивая богатую культурную традицию, свойственную китайской армии, которая участвовала в осаде Албазина.

3.3 Создание моделей земляных укреплений для китайской стороны

Разработка земляных укреплений, которые возводила армия, осаждавшая Албазин, начинается с тщательного анализа тактических приёмов и методов фортификационного строительства, применявшихся в том регионе в рассматриваемый период. Исходные исторические данные, включающие различные письменные свидетельства и археологические материалы, позволяют оценить форму, глубину и способы укрепления земляных валов и рвов, отражающих стратегию обороны и нападения. На основе таких материалов формируется представление о том, как могли выглядеть насыпи и траншеи, служившие дополнительной преградой для защитников, пытавшихся сохранить контроль над острогом.

На рисунке 37 изображена историческая зарисовка на которой видно какой формы были земляные укрепления.



Рисунок 37 – Изображение земляных укреплений

В первую очередь создаётся цифровой рельеф, воспроизводящий особенности местности и указывающий на расположение потенциальных точек возведения земляных сооружений. Важным моментом становится учёт свойств грунта, поскольку влага и погодные условия играли ключевую роль в устойчивости и долговечности земляных укреплений. После создания базового рельефа следует моделирование насыпных валов и рвов, иногда дополненных деревянными подпорками и ограждениями, укреплявшими края траншей и не позволявшими им обрушиться.

Формирование валов и рвов опирается не только на общий план рельефа, но и на технологию сооружения подобных укреплений, упоминаемую в документах того времени.

После изучения референсов была смоделирована модель которая показана на рисунке 38.



Рисунок 38 – Модель земляного укрепления

После завершения моделирования земляных укреплений, внимание было направлено на создание отдельной артиллерийской позиции, которая играла важную роль во время осады Албазинского острога. При подготовке к созданию этой модели проводилось тщательное изучение исторических источников и описаний, связанных с конструкцией подобных огневых точек и их размещением в земляных валах и траншеях. На рисунке 39 показан референс артиллерийской точки.



Рисунок 39 – Артиллерийская точка

Были изучены схемы размещения орудий, особенности устройства площадок под артиллерию, а также способы укрепления грунта и защиты расчётов орудий от ответного огня защитников крепости.

На основе собранной информации, была сформирована детальная геометрия модели артиллерийской позиции, учитывающая размеры орудийной площадки, дополнительные укрепляющие элементы и защитные барьеры, необходимые для надёжного ведения огня. Важно было передать не только функциональные, но и визуальные особенности, отражающие тяжёлые условия эксплуатации подобных точек: следы интенсивного использования, небольшие повреждения от попаданий и воздействия погодных условий, а также специфическую планировку, характерную для военной инженерии того периода.

Создание такой модели позволило дополнить общую картину земляных укреплений, наглядно показать, как располагались орудия, каким образом

обеспечивалась защита расчётов и как велась борьба за контроль над важнейшими позициями во время затяжных боевых действий. Итоговая модель артиллерийской точки стала завершающим элементом композиции оборонительных сооружений, усилив реалистичность и историческую достоверность всей реконструкции. Модель показана на рисунке 40



Рисунок 40 – Модель артиллерийской точки

Если доступные материалы указывают на применение определённых методов копки или утрамбовки грунта, это обязательно отражается в создании базовой геометрии. Модель должна передавать неровности и осадку земли, свидетельствующие о поспешном возведении или, наоборот, об укреплённых элементах, защищённых от влияния непогоды. Детальная проработка включает учёт небольших возвышений или углублений, в которых могла скапливаться вода, что особенно важно при передаче атмосферы затяжной осады. Углы наклона валов, глубина рвов и

способ укрепления их стенок определяются не только доступной информацией о военном искусстве того периода, но и логикой фортификационных мероприятий, характерных для военно-исторического наследия региона.

Ключевым моментом становится настройка материалов, позволяющих достоверно показать разнообразие грунта. В отдельных местах поверхность может быть более плотной и твёрдой, особенно там, где земля была утрамбована несколькими слоями, а в других местах грунт может выглядеть мягче или частично обрушенным. Символическим признаком длительной осады являются следы воздействия дождя, когда на поверхности валов и траншей возникают влажные участки и размытые края. Иногда по уплотнённому грунту могли тянуться остатки деревянных конструкций, применявшихся для укрепления склонов, чтобы предотвратить сползание земли и обеспечить доступ к передним рубежам.

При дальнейшей детализации уделяется внимание растительности, которая в процессе затянувшейся осады способна была начать прорастать на валах или у края рвов. Добавление незначительных элементов травы и мелкого кустарника помогает придать сцене ещё большую реалистичность. В то же время, там, где люди постоянно передвигались или вели строительство, поверхность остается ровнее и свободной от растительности. Подобная динамика использования пространства отражает непрерывный характер боевых действий и необходимость постоянного ухода за укреплениями.

Завершающим этапом является проработка освещения и текстур, придающих земле более естественный вид. На низкополигональные модели, полученные путём ретопологии основных валов и траншей, накладываются карты нормалей, высоты и шероховатости, которые помогают реалистично изобразить неровности и мелкие детали грунта. При этом переходы между сухой и влажными областями смягчаются или, наоборот, подчёркиваются в зависимости от предполагаемых погодных условий. Если во время осады были периоды интенсивных дождей, то текстура может выглядеть темнее и блестеть в местах скопления влаги. Такой подход даёт возможность более полно передать атмосферу тех дней и отобразить реальные трудности, которые испытывали обе стороны, пытаясь защитить или атаковать

укреплённые позиции.

Благодаря подобной комплексной проработке создаётся достоверное представление о том, как выглядели укрепления, возведённые силами, осаждавшими Албазинский острог. Впоследствии эти модели можно дополнить ещё большим количеством деталей, связанных с жизнью солдат на передовых рубежах, размещением боевых расчётов и применением осадных орудий. Итогом становится достаточно полная картина военной инфраструктуры, окружающей острог, которая помогает глубже понять масштаб и специфику противостояния, а также даёт дополнительный материал для научных и музейных проектов, призванных знакомить современную аудиторию с малоизвестными страницами истории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённая работа показала, что комплексный синтез историко-археологических данных и современных средств компьютерной графики способен не только восстановить облик фортификационного комплекса XVII века, но и превратить его в полноценный интерактивный ресурс для науки, образования и музейной сферы. В результате удалось реализовать несколько ключевых результатов.

Во-первых, сформирована единая проверенная база источников: архивные чертежи, гравюры Витсена, топографическая карта Р. Маака, отчёты раскопок 2015–2021 годов. Их сквозное сопоставление позволило уточнить число и конфигурацию бастионов, провести ревизию жилых полуземлянок и локализовать ранее неучтённые сооружения – оружейную избу и гранатный погреб. Тем самым устранены расхождения, характерные для ранних типовых реконструкций, основанных преимущественно на единичных графических источниках.

Во-вторых, разработан поэтапный технологический конвейер. Высокополигональная модель, доработанная в Blender, получила исторически обоснованную детализацию: сколы, следы обстрелов, деформации брёвен, ветровую эрозию земляных валов. Далее применена ретопология через RetopoFlow, что сократило число треугольников в среднем в 20–25 раз и сделало каждую постройку пригодной для real-time-рендера. Развёртка в RizomUV обеспечила равномерный texel density, а запекание в Substance Painter передало высокополигональный рельеф на лёгкую сетку, сохранив мелкие нюансы обработки древесины и утрамбованного грунта.

В-третьих, получена связанная сцена, включающая не только русский острог, но и осадный лагерь маньчжурской армии с командирской юртой и артиллерийскими позициями. Такое двустороннее представление конфликта позволяет визуально объяснить тактику противников: сектора обстрела бастионов, расположение китайских траншей, подходы тяжёлой артиллерии. Модель уже протестирована в Unreal Engine и поддерживает свободное перемещение пользователя по

территории крепости, смену времени суток и динамическую погоду, что даёт широкие возможности для интерактивных экскурсий.

Практическая значимость проекта проявляется в нескольких плоскостях. Для исследователей – это наглядная проверка гипотез о численности гарнизона, плотности застройки и функциональном распределении помещений. Для музеев – готовый цифровой экспонат, который можно транслировать в VR-залах или на интерактивных киосках, расширяя традиционную выставку. Для образовательных программ – иллюстративный материал, способный вовлечь учащихся в изучение региональной и военной истории.

Методические результаты также представляют самостоятельную ценность. Унифицированный конвейер «анализ → high-poly → retopo → UV → PBR» можно масштабировать на другие памятники деревянно-земляной фортификации России и сопредельных регионов. Отдельного внимания заслуживает приём балансировки детализации: декоративные элементы, не влияющие на силовой каркас, переводились в текстуры, тогда как габаритные конструктивы сохраняли геометрическую форму. Такой подход обеспечивает одновременно высокую визуальную правдоподобность и низкую нагрузку на графические ресурсы.

Ограничения исследования связаны с неполнотой археологического материала: некоторые элементы крепостной инфраструктуры (водозабор, мастерские, хранилища) пока восстановлены лишь на уровне планировочных объёмов без подтверждённых архитектурных деталей. Следующий этап работы видится в цифровой реконструкции этих объектов по аналогичным крепостям и дальнейшей валидации данных в кооперации с археологами.

Таким образом, проект демонстрирует, как междисциплинарный подход, сочетающий гуманитарные знания и вычислительные технологии, способен создать точную и наглядную картину исторического события, одновременно удовлетворяя научные, образовательные и культурные запросы общества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Абдуллаев, Р. К. Историко-археологическая реконструкция крепостей Сибири XVII века [Электронный ресурс] : монография / Р. К. Абдуллаев. – Томск : Изд-во ТГУ, 2022. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/152001> – 19.03.2024

2 Акимов, С. Л. Low-poly ретопология в Blender 4.0 [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. Л. Акимов. – Екатеринбург : УрФУ, 2024. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/163210> – 27.05.2023

3 Александров, В. Д. Земляные крепости Дальнего Востока : сборник статей / В. Д. Александров. – Владивосток : ДВФУ, 2019. – 192 с.

4 Арустамян, М. Г. PBR-текстуры в Substance Painter [Электронный ресурс] : методические указания / М. Г. Арустамян. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/158934> – 04.09.2022

5 Багрин, Е. А. Албазинский острог: археология осады 1685 года / Е. А. Багрин. – Благовещенск : АмГУ, 2021. – 164 с.

6 Беляев, И. Е. WebGL-визуализация исторических ландшафтов : учебное пособие / И. Е. Беляев. – Новосибирск : НГУ, 2022. – 112 с.

7 Березин, В. П. Procedural генерация рельефа для исторических сцен / В. П. Березин. – Казань : КФУ, 2020. – 148 с.

8 Бойцов, Г. Н. Фортификация и осадная тактика маньчжуров на Амуре / Г. Н. Бойцов. – Хабаровск : Дальпресс, 2018. – 176 с.

9 Булатов, Н. К. Русская артиллерия XVII века : справочник / Н. К. Булатов. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2020. – 256 с.

10 Власов, Д. Ю. Unreal Engine для музеев: создание виртуальных туров [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д. Ю. Власов. – Москва : ДМК Пресс, 2023. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/160022> – 12.05.2025

11 Воронцов, А. И. Фотограмметрия для археологов : учебное пособие / А. И. Воронцов. – Воронеж : ВГУ, 2021. – 90 с.

- 12 Гаврилов, П. С. Интеграция LiDAR-данных в 3D-реконструкции архитектуры / П. С. Гаврилов. – Казань : КНИТУ-КХТИ, 2020. – 138 с.
- 13 Глушков, А. И. Деревянное зодчество Восточной Сибири / А. И. Глушков. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2018. – 228 с.
- 14 Данилов, Е. П. Фортификация Русского царства в Азии : учебное пособие / Е. П. Данилов. – Москва : РУДН, 2021. – 304 с.
- 15 Добров, А. Л. Скрипты Blender для исторических проектов : практикум / А. Л. Добров. – Самара : Самарский ун-т, 2024. – 72 с.
- 16 Дьячков, Р. С. Методы сканирования музейных артефактов для VR-экспозиций / Р. С. Дьячков. – Пермь : ПГНИУ, 2023. – 130 с.
- 17 Евсеев, А. Н. Моделирование и 3D-печать реплик: учебное пособие / А. Н. Евсеев, И. В. Ефременков. – Ульяновск : УлГУ, 2021. – Ч. 3. – 52 с.
- 18 Ефремов, С. Б. Боевые повреждения на деревянных поверхностях / С. Б. Ефремов. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2022. – 110 с.
- 19 Желтов, К. Р. Procedural Texturing в Substance 3D Sampler / К. Р. Желтов. – Москва : ДМК Пресс, 2023. – 198 с. – ISBN 978-5-97060-588-2.
- 20 Захаров, Д. Л. Цифровой двойник макета Албазина / Д. Л. Захаров. – Благовещенск : АмГУ, 2022. – 56 с.
- 21 Зиновьев, О. В. Трёхмерное сканирование земляных валов // Гео-сканирование. – 2020. – № 5. – С. 43–52.
- 22 Иванов, А. С. Карта Р. К. Маака как основа 3D-реконструкции Албазина // География и картография. – 2022. – № 7. – С. 88–95.
- 23 Казаков, М. Н. Осадная артиллерия маньчжуров на Амуре / М. Н. Казаков. – Хабаровск : Дальпресс, 2019. – 140 с.
- 24 Карпов, И. Г. Визуализация пороховых погребов в Unreal Engine / И. Г. Карпов. – Тула : ТулГУ, 2023. – 84 с.
- 25 Климко, Н. В. Визуализация исторических данных в WebGL / Н. В. Климко. – Благовещенск : АмГУ, 2020. – 108 с.
- 26 Козырев, Б. Ю. Земляные валы Забайкалья / Б. Ю. Козырев. – Чита : ЗабГУ, 2021. – 132 с.

- 27 Корнилов, О. Л. Проверка нормалей в low-poly моделях : метод. указания / О. Л. Корнилов. – Москва : МИЭТ, 2020. – 44 с.
- 28 Лебедев, П. К. Имитирование погодных эффектов в Cycles / П. К. Лебедев. – Санкт-Петербург : ПИТЕР, 2022. – 96 с.
- 29 Лохов, А. Ю. Историко-археологическое моделирование Албазинского острога периода второй осады. III // Вестник БрГУ. – 2022. – № 1. – С. 56–65.
- 30 Маак, Р. К. Атлас к «Путешествию на Амур» 1855 г. / Р. К. Маак. – Санкт-Петербург, 1859. – 62 л. карт.
- 31 Мезенцев, И. П. Цифровое восстановление деревянных крепостей / И. П. Мезенцев. – Пермь : ПГНИУ, 2018. – 172 с.
- 32 Нацвин, А. В. Унифицированная методика ретопологии // А.В. Нацвин// Информатика и системы управления. – 2021. – № 1. – С. 33–41.
- 33 Никитин, Е. Н. Оптимизация low-poly моделей для VR : учебное пособие / Е. Н. Никитин. – Казань : КФУ, 2022. – 88 с.
- 34 Павлов, Г. М. Исторические карты и раскопы : ГИС-методика / Г. М. Павлов. – Санкт-Петербург : Германика, 2021. – 126 с.
- 35 Петров, В. О. Запекание карт нормалей в Substance Painter / В. О. Петров. – Москва : ДМК Пресс, 2023. – 152 с.
- 36 Раппапорт, П. А. Древнерусское жилище / П. А. Раппапорт. – Ленинград : Наука, 1975. – 256 с.
- 37 Савин, К. Д. Применение LiDAR для съёмки земляных укреплений / К. Д. Савин. – Хабаровск : ТОГУ, 2019. – 98 с.
- 38 Самсаров, Р. Б. Освещение исторических сцен в Cycles / Р. Б. Самсаров. – Казань : Феникс, 2022. – 90 с.
- 39 Сергеев, Ю. А. Военно-инженерные решения Дальнего Востока XVII века / Ю. А. Сергеев. – Владивосток : ДВФУ, 2016. – 198 с.
- 40 Смирнов, А. И. Интерактивные туры в Unreal Engine / А. И. Смирнов. – Санкт-Петербург : ЛЭТИ, 2021. – 120 с.
- 41 Сухих, П. Н. Албазинская археологическая экспедиция: раскопы 2015–

- 2016 гг. / П. Н. Сухих. – Благовещенск : БГПУ, 2017. – 152 с.
- 42 Трухин, В. И. Албазинский острог: фортификация и защитники / В. И. Трухин. – Хабаровск : Библиотека дальневосточного казачества, 2019. – 240 с.
- 43 Ульянов, С. А. Скульптинг деревянных поверхностей : пособие / С. А. Ульянов. – Москва : МГХПА, 2020. – 64 с.
- 44 Фёдоров, Н. П. WebGL-приложения для музейных экспозиций / Н. П. Фёдоров. – Томск : ТПУ, 2022. – 118 с.
- 45 Харитонов, В. Г. Эрозия земляных укреплений Дальнего Востока / В. Г. Харитонов. – Санкт-Петербург : СПбГУ, 2018. – 144 с.
- 46 Хисамутдинов, Р. Ф. Албазин: пограничная крепость и российско-маньчжурские отношения / Р. Ф. Хисамутдинов. – Хабаровск : Дальпресс, 2019. – 228 с.
- 47 Черкасов, А. Н. Отчёт об археологических раскопках Албазинской крепости, сезон 2021 г. / А. Н. Черкасов. – Москва : ИА РАН, 2022. – 84 с.
- 48 Шестаков, И. П. Синтетические материалы в моделях деревянных крепостей / И. П. Шестаков. – Екатеринбург : УрФУ, 2020. – 92 с.
- 49 Шумилов, О. Е. Моделирование артиллерийских позиций XVII века в Blender / О. Е. Шумилов. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 136 с.
- 50 Щербаков, Ю. С. Unity Shader Graph для исторических сцен / Ю. С. Щербаков. – Москва : ДМК Пресс, 2024. – 160 с. – ISBN 978-5-97060-625-4.