

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: Компьютерная реконструкция первой осады Албазинского острога

Исполнитель студент группы 3105-ом1	_____	И.В. Зайцев
	(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.

З А Д А Н И Е

К магистерской диссертации студента _____ группы 3105-ом

Зайцева Ильи Владимировича

1. Тема магистерской диссертации: _____

Компьютерная реконструкция первой осады Албазинского острога

(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, высокополигональная модель, интернет ресурсы, учебная литература

4. Содержание магистерской диссертации (перечень подлежащих разработке вопросов): Компьютерные реконструкции, разработка алгоритма решения задачи, разработка компьютерной реконструкции

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

6. Рецензент магистерской диссертации: Вирта И.С., 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 83 страницы, 44 рисунка, 50 источников.

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ, 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ, UNREAL ENGINE 5, BLENDER, ЛАНДШАФТ, ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ ПЛАН

Целью данной выпускной квалификационной работы является создание исторически достоверной трёхмерной реконструкции первой осады Албазинского острога с использованием AutoCAD, Blender и Unreal Engine 5. Проект демонстрирует, как современные графические технологии позволяют визуализировать ключевые события освоения Дальнего Востока в формате интерактивной 3D-сцены.

Основные этапы работы:

- сбор и анализ исторических карт, чертежей и письменных источников для определения реального рельефа и планировки острога;
- обработка топографических планов в AutoCAD и экспорт изолиний высот;
- построение детализированного рельефа и базовых моделей укреплений в Blender, а также генерация карты высот;
- интеграция ландшафта и объектов в Unreal Engine 5, настройка материалов, освещения и камер.

Результатом стала 3D-сцена размера 800 на 800 метров (масштаб 1:1), отображающая рельеф местности, стены и башни острога, а также расположение лагерей обеих сторон. Работа подтверждает потенциал 3D-моделирования и сред визуализации в исторической реконструкции и открывает возможности для дальнейшего развития: добавления анимации войск, интерактивного пользовательского режима и расширения реконструкции на другие эпизоды Албазинской обороны.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Компьютерные реконструкции	7
1.1 Историческая геоинформатика	7
1.2 Первая осада Албазинского острога	13
1.3 Существующие решения компьютерной реконструкции осады	18
2 Проектирование алгоритма решения задачи	23
2.1 Общая схема решения задачи	23
2.2 Обзор профильного программного обеспечения	27
2.3 Детальная схема решения задачи	34
3 Разработка компьютерной реконструкции	44
3.1 Виртуальная реконструкция ландшафта Албазинского острога	44
3.2 Интеграция 3D-ландшафта в среду визуализации Unreal Engine с применением материалов и эффектов освещения	51
3.3 Формирование визуального образа сцены посредством настройки света и камер	70
Заключение	79
Библиографический список	80

ВВЕДЕНИЕ

Современные информационные технологии предоставляют исследователям новые способы визуализации исторических событий: сегодня можно создавать трёхмерные цифровые реконструкции, позволяющие буквально «увидеть» ход событий прошлого. Такие проекты делают исторические сведения более наглядными, упрощают пространственный анализ и служат инструментом сохранения культурного наследия.

Особую актуальность представляет первая осада Албазинского острога 1685 года – ключевой эпизод освоения Приамурья, повлиявший на укрепление российской государственности на Дальнем Востоке. Албазин служил опорным пунктом русских поселений и православной миссии; его оборона стала важным символом противостояния с маньчжурской Империей Цин. Историко-культурная значимость этого события подчёркивается как региональными, так и федеральными инициативами по популяризации дальневосточного наследия.

Возможность создать достоверную реконструкцию осады Албазина сегодня обеспечивают профессиональные инструменты 3D-моделирования и визуализации. В рамках данной работы для этих целей выбраны AutoCAD (для точной обработки топографических планов), Blender (для построения высокополигонального рельефа и базовых объектов) и игровой движок Unreal Engine 5 (для финальной сборки сцены, настройки материалов и освещения). Такое сочетание программного обеспечения позволяет совместить геодезическую точность с фотореалистичной графикой.

Цель диссертационного исследования – разработать исторически достоверную трёхмерную сцену первой осады Албазинского острога 1685 года на площади 800 на 800 м в масштабе 1 к 1.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

– изучить и сопоставить исторические и топографические источники, необходимые для воссоздания рельефа и застройки;

- сформировать цифровую модель рельефа в AutoCAD и перенести в Blender, установив абсолютные высотные отметки;
- смоделировать основные фортификационные и вспомогательные постройки острога;
- интегрировать ландшафт и объекты в Unreal Engine 5, настроить текстуры, освещение и камерные ракурсы.

Объект исследования – ландшафт и застройка Албазинского острога во время первой осады 1685 года.

Предмет исследования – компьютерная трёхмерная реконструкция этих событий и её визуализация в среде Unreal Engine 5.

Реализация проекта позволит наглядно представить стратегические особенности обороны Албазина, что важно как для историков-практиков, так и для образовательных и музейных инициатив, направленных на популяризацию истории Дальнего Востока России.

1 КОМПЬЮТЕРНЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

1.1 Историческая геоинформатика

Историческая геоинформатика представляет собой относительно молодую, но уже достаточно сформировавшуюся дисциплину, возникшую на стыке истории, географии, информатики и археологии. Она занимается сбором, систематизацией и пространственным анализом исторических данных с помощью современных цифровых технологий. Основой такого подхода являются географические информационные системы, которые позволяют визуализировать и моделировать исторические процессы, опираясь на точные координаты и разного рода геопространственные характеристики.

Возникновение исторической геоинформатики связано с тем, что в последнее десятилетие всё больше архивных документов, летописей, старинных карт, планов городов и укреплений, а также разнообразных отчётов экспедиций и военных походов становится доступно в оцифрованном виде. Это открывает большие возможности для анализа информации, которая раньше хранилась в труднодоступных архивах и существовала в единичных экземплярах. В традиционной историографии описание событий, будь то миграции народов, торговые пути, военные столкновения или культурные трансформации, часто велось в форме нарративов, основанных на текстовых свидетельствах. Однако многим историческим ситуациям присуща ярко выраженная пространственная компонента: сражения происходят на определённом рельефе, развитие городов зависит от географических условий, а хозяйственная деятельность обусловлена климатом и природной средой.

Активная интеграция инструментов компьютерного картографирования позволяет не только наносить исторические события на современные цифровые карты, но и воссоздавать облик территории в тот период, который интересует исследователя. Так, историческая геоинформатика помогает учитывать изменения ландшафта, реальное положение гор и рек, особенности климатической обстановки и многое другое, что в совокупности создаёт многомерную картину

прошлого. Изменения русел рек, усадка берегов, исчезновение или, наоборот, появление лесных массивов и болот влияют на логику военных действий, прокладку путей сообщения, расположение поселений и укрепленных объектов. Все эти нюансы становятся видны через призму пространственно-временного анализа, дополняющего традиционные исторические источники.

Одним из важных преимуществ исторической геоинформатики является её междисциплинарность. В такой работе объединяются специалисты в области классической истории, географы, археологи, этнологи, программисты, дизайнеры 3D-моделей и многие другие. Это сотрудничество позволяет формировать цифровые архивы, обогащённые элементами интерактивных карт и виртуальных реконструкций. В итоге историческое знание приобретает дополнительную наглядность, становится доступнее для широкой аудитории и даёт возможность более глубоко погружаться в специфику изучаемого периода.

Компьютерные модели и геоинформационные системы находят самое разное применение в исторических исследованиях. Среди самых распространённых методов можно назвать реконструкцию границ государств, анализ динамики заселения территорий, выявление закономерностей в распространении культурных явлений, изучение сети торговых путей, исследование логистики и снабжения армий в ходе военных кампаний. С помощью анализа местных природных ресурсов, ландшафтных особенностей и исторической документации появляется шанс восполнить пробелы в источниках и проверить альтернативные гипотезы о ходе тех или иных событий.

Важным направлением исторической геоинформатики является 3D-реконструкция древних и средневековых поселений, крепостей и укреплений. Современные компьютерные программы способны моделировать не только форму архитектурных объектов, но и приблизительное состояние окружающей среды. Однако для того, чтобы создать действительно правдоподобную трёхмерную модель, требуется пройти ряд этапов. Во-первых, собираются и изучаются все доступные исторические источники: архивные документы, чертежи, планы,

результаты археологических раскопок, описания очевидцев. На рисунке 1 представлены исторические данные в формате рисунка.

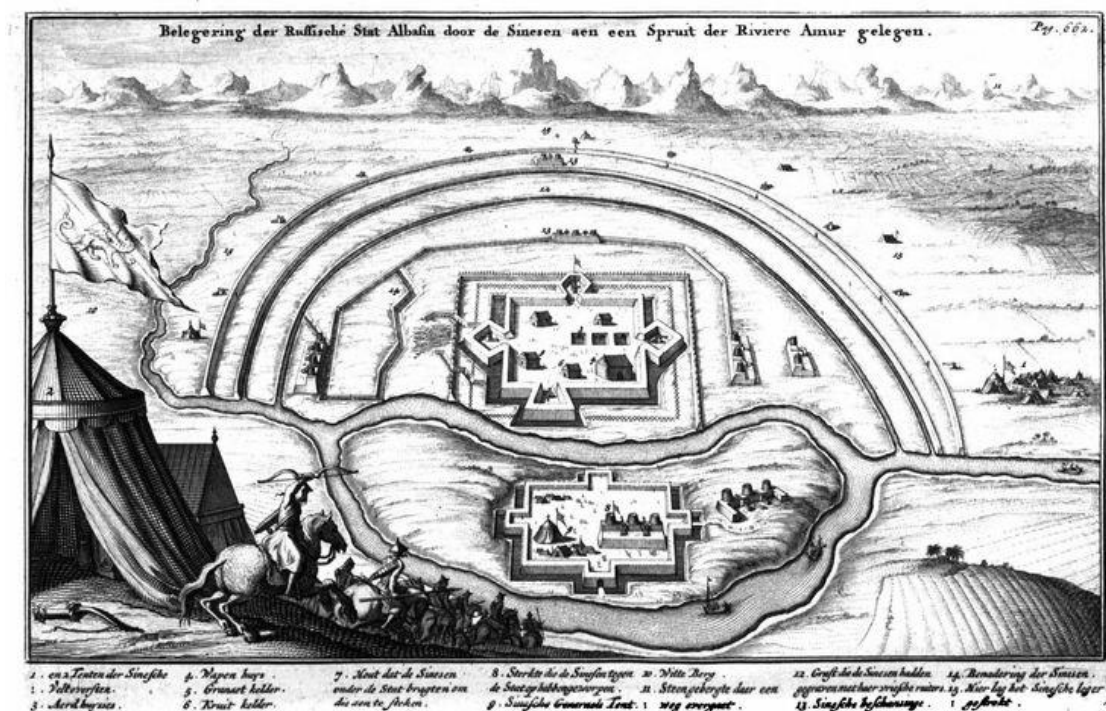


Рисунок 1 – Пример исторических данных

Во-вторых, данные согласовываются с топографическими картами и геоинформационными системами, чтобы можно было корректно «привязать» объекты к реальному рельефу и учесть изменения ландшафта, которые произошли с момента описываемых событий. На рисунке 2 представлен пример топоплана.



Рисунок 2 – Пример топографического плана

В-третьих, на основании этих материалов создаются цифровые модели зданий, укреплений, дорог и других элементов инфраструктуры, причём особое внимание уделяется деталям конструкций, размерам сооружений, а также характеру местности. Наконец, полученная модель может быть дополнена интерактивной визуализацией и средствами навигации: это позволяет пользователям «прогуляться» по виртуальному пространству и лучше понять исторический контекст.

Иногда подобные 3D-модели становятся частью крупных культурно-просветительских проектов, музеефицированных выставок и интерактивных презентаций. Благодаря этому пользователи или посетители могут «погружаться» в исторический ландшафт и наглядно представлять себе, в каких условиях развивались события прошлого. Такую практику всё чаще применяют при освещении военных конфликтов, в том числе осад городов и острогов, где особенно важны детали укреплений, топография, расположение рек, дорог и местных ресурсов. Подобные реконструкции способны не только визуализировать ход сражений, но и прояснять логику обороны, маршруты снабжения и другие аспекты, которые часто остаются за кадром при обычном текстовом описании.

На рисунке 3 представлен пример 3D-реконструкции.



Рисунок 3 – 3D-реконструкция двухэтажной базилики

Польза исторической геоинформатики для науки и общества очень широка. Помимо уточнения данных и их наглядной визуализации, она способствует

сохранению и систематизации культурного наследия, поскольку оцифровка и пространственное привязывание исторических источников помогают увековечить ценные сведения о памятниках архитектуры, местах сражений и жизни прежних поколений людей.

Всё это делает историческую геоинформатику перспективной областью, которая продолжит развиваться по мере совершенствования технологий и расширения доступа к архивам и полевым исследованиям. При этом компьютерная реконструкция исторически значимых событий – от масштабных сражений до локальных оборонительных операций – является одной из форм исторической геоинформатики, позволяя соединять данные о ландшафте, архитектуре укреплений и логистике боевых действий в наглядных цифровых моделях и, тем самым, более глубоко воссоздавать картину прошлого.

Историческая геоинформатика непрерывно эволюционирует, интегрируя всё более сложные технологии анализа больших объёмов данных и расширяя границы традиционного исторического исследования. В последние годы особое внимание в этой сфере привлекают методы дистанционного зондирования и лидар-съёмки, позволяющие воссоздавать рельеф и обнаруживать скрытые под слоями почвы или растительности остатки древних сооружений. Помимо этого, всё большую популярность обретают методы машинного обучения, которые дают возможность автоматически обрабатывать и классифицировать картографический материал, архивные документы или старые аэроснимки, выявляя характерные признаки укреплений и архитектурных объектов.

Возникает и новое направление, связанное с цифровыми гуманитарными науками. В проектах, объединяющих специалистов по истории, программированию, географии и культурологии, историческая геоинформатика получает дополнительный стимул к развитию, так как позволяет сопрягать тексты летописей, дипломатических отчётов или записей археологических раскопок с точными координатами на карте. В результате становятся возможны более глубокие исследования не только военных операций, но и повседневной жизни древних городов или деревень, когда с помощью пространственного анализа выявляются

маршруты поставок ресурсов, закономерности в расселении населения или появлении ремёсел.

Развитие технологий виртуальной и дополненной реальности также вносит вклад в совершенствование методов исторической геоинформатики. Виртуальные туры, где пользователь может «пройтись» по воссозданным улицам, стенам и башням, постепенно становятся не просто иллюстративным приложением к научной работе, но и отдельным инструментом исследования. В подобных проектах возможно более детальное моделирование рельефа той эпохи и уточнение параметров укреплений за счёт перепроверки архивных данных и сопоставления результатов с трёхмерной моделью.

Ещё одной важной инновацией стало активное вовлечение краудсорсинга, когда местные краеведы или студенты помогают фиксировать координаты остаточных следов укреплений, собирать фотографии, оцифровывать документы или переводить фрагменты малоизвестных текстов. Все эти данные в дальнейшем вносятся в единые базы, которые обрабатываются средствами геоинформатики и становятся доступными для научного сообщества. Подобный подход значительно ускоряет процесс сбора информации, особенно по удалённым и малоизученным территориям, а также способствует появлению новых гипотез относительно размещения фортификационных объектов, планировки поселений и путей миграции.

Всё большее распространение получают и подходы, основанные на создании динамических баз данных, где не только учитываются пространственные координаты, но и сохраняется временная шкала. Благодаря этому появляется возможность проследить эволюцию определённой местности или архитектурной конструкции в разные исторические периоды, что особенно актуально для изучения долгосрочных изменений рельефа, вызванных природными процессами или человеческой деятельностью. В сочетании с классическими методами критического анализа источников историческая геоинформатика таким образом обретает статус самостоятельной ветви исследований, способной ответить на

широкий круг вопросов, связанных с пространственным измерением исторических событий.

Сочетание современных компьютерных технологий с традиционными историческими методами открывает путь к более точному и визуально наглядному воспроизведению прошлого. Это касается как локальных эпизодов, например обороны отдельных городских укреплений, так и крупных военных кампаний, охватывающих обширные территории. Применение методов машинного обучения, цифровых гуманитарных наук, виртуальной реальности и краудсорсинга делает историческую геоинформатику неотъемлемой частью комплексных исследований, направленных на понимание пространственных закономерностей развития обществ и государств. Именно такой универсальный подход формирует предпосылки для создания полноценных виртуальных реконструкций, способных расширить наше представление о прошлых эпохах и позволить взглянуть на исторические события со стороны непосредственного участника.

1.2 Первая осада Албазинского острога

Ярким примером, где методы исторической геоинформатики могли бы принести большую пользу, является изучение первой осады Албазинского острога. Албазинский острог, расположенный на правом берегу реки Амур (нынешняя Амурская область), был основан русскими казаками во второй половине XVII века. Он стал одним из первых укрепленных пунктов, отражавших попытки Российского государства укрепиться на дальневосточных рубежах. Тот период в российской истории отмечен активным освоением Сибири и Дальнего Востока, когда отряды казаков, землепроходцев и исследователей продвигались всё дальше на восток в поисках новых земель, пушнины и природных ресурсов.

К тому времени территории бассейна Амура уже находились под заметным культурным и политическим влиянием соседних этносов и держав. Наиболее серьёзным соперником Московского государства здесь стала маньчжурская династия Цин: объединив Китай, она активно продвигала свои рубежи на север и считала приамурские земли частью собственной вотчины. Во второй половине XVII в. интересы двух держав неизбежно пересеклись. Русские отряды стремились

закрепиться у стратегических пунктов на Амуре, чтобы контролировать водный путь и взимать ясак с дауров и других местных жителей, тогда как Цин воспринимала это как прямое посягательство на свою сферу влияния. К лету 1685 года маньчжурские силы численностью до трёх тысяч человек подошли к Албазину и начали осаду, стремясь вытеснить казаков и подтвердить верховенство империи над регионом. Гарнизон укрепления насчитывал лишь несколько сотен казаков с семьями; располагая несколькими орудиями и хорошо зная местный ландшафт, они рассчитывали удержаться до возможного подхода подкреплений, несмотря на численное превосходство противника. Русские источники и летописи описывают, как защитники успешно отражали нападения, используя особенности рельефа и валы укреплений, а также применяли орудия для контратаки.

При этом нельзя забывать о трудностях, с которыми сталкивались обе стороны. Территория Приамурья отличалась суровым климатом, а пути снабжения и коммуникаций были крайне сложными, особенно на таком большом расстоянии от основных административных и военных центров как России, так и империи Цин. Маньчжуры, обладая более многочисленной армией, возлагали надежды на быструю и решительную операцию. Тем не менее, русские укрепились в остроге и некоторое время вели оборону. На рисунке 4 можно увидеть китайский рисунок осады острога.



Рисунок 4 – Китайский рисунок «Luosha» из атласа

В ходе осады использовались разные военные тактики: подрыв укреплений, попытки взять острог приступом, ведение артиллерийского обстрела и даже ведение переговоров. Хотя в итоге русскому гарнизону пришлось покинуть острог, осада не стала финальной точкой в противостоянии за Албазин. Позднее крепость вновь была заселена и укреплена, что привело к новой осаде в 1686 году. Эти эпизоды существенно повлияли на русско-китайские отношения и в конечном счёте сыграли свою роль в заключении Нерчинского договора 1689 года. Именно этот договор считается первым официальным соглашением между Россией и Китаем, сформировавшим правовую базу для определения границ и дальнейших контактов двух стран на Дальнем Востоке.

Значение первой осады Албазинского острога выходит за рамки локальной истории. Она демонстрирует, как геополитическая конкуренция на дальних окраинах обоих государств способствовала появлению новых форм дипломатических переговоров и формированию международного договора. Кроме того, события вокруг Албазина показали, насколько важны грамотная организация обороны, логистика и учёт особенностей местного ландшафта. Этот пример ясно свидетельствует, что изучение природных условий, местного рельефа и реки Амур было столь же важным, как и военная мощь сторон. В случае применения историко-геоинформационных подходов к анализу этих событий исследователи могли бы сочетать сведения о ландшафте и рельефе XVII века, обнаружить возможные места для укрытий, укреплений, определить, как передвигались нападавшие и обороняющиеся, и уточнить детали, которые в письменных источниках зачастую не отображены в полном объёме.

Огромный интерес вызывает также анализ того, как после ухода маньчжуров и временного запустения острог снова был восстановлен. Подобные факты дают материал для размышлений о силе человеческой воли и настойчивости в отстаивании новых территорий, а также о том, как часто в истории России люди трудились и сражались в изолированных условиях вдали от центральных властей. Всё это формирует богатую почву для исторических реконструкций,

которые могли бы наглядно показать и форму укреплений, и расстановку сил, и динамику развития конфликта.

Албазинский острог приобрёл значение стратегической точки на Амуре не только благодаря своему удачному расположению, но и вследствие природных и экономических особенностей прилегающих территорий. Место под острог было выбрано с учётом близости к воде, а также наличия сравнительно ровных земель поблизости, где можно было обустроить пашни и огороды. Казакам требовался надёжный пункт для стоянок в период продолжительных отрядных походов, и Албазин отвечал этим требованиям: из него можно было быстро снарядить экспедицию вверх или вниз по реке, организовать вылазки вглубь местности в поисках пушнины или для поддержания порядка среди местных племён, которые зачастую конфликтовали между собой.

В то время Амур был естественной водной артерией, играющей роль «транспортного коридора», связывающего отдалённые районы с более обжитыми центрами. Люди, поселившиеся у укрепления, нуждались в постоянных поставках зерна, соли, пороха и иных товаров, которые могли прибывать только водным путём либо дорогостоящими сухопутными маршрутами. Сам Албазин постепенно обрёл черты полноценного поселения с хозяйственными пристройками, кузницами, зернохранилищами и часовней, что указывает на стремление превратить его не просто в военный форпост, но и в место постоянного проживания казаков и их семей.

История создания Албазина вплетена в процесс освоения Россией восточных земель, который был во многом инициирован частными отрядами и землепроходцами. Именно они первыми выходили к новому водному пространству, заключали договоры с местными племенами о совместной охоте или сборе дани и основывали небольшие острожки с башнями и частоколами, которые могли защитить от внезапных нападений. Албазин стал одним из самых значимых таких пунктов, потому что вокруг него формировалась целая сеть поселений, и он постепенно сделался центром для сбора ясака и ведения торговли. Возникали новые промысловые участки, открывались лесные тропы, а коренное население

нередко вступало в союз с русскими или, напротив, сопротивлялось влиянию пришлых отрядов.

Основание Албазина нельзя рассматривать в отрыве от геополитических устремлений Московского царства, которое стремилось удерживать контроль над Сибирью и прилегающими территориями. Власти считали важным не только военное присутствие, но и налаживание экономической деятельности: сооружение амбаров, выгонов для скота и рыболовных станов. Амур, помимо того, был богат рыбой, что облегчало пропитание гарнизона и позволяло торговать с окрестными народностями. Однако всё это требовало стабильности и защиты, и потому в Албазине уделяли значительное внимание укреплению стен, возведению дозорных башен и устройству прилегающих земель. По мере расширения влияния казаков в регионе возрастала и необходимость укреплять подступы к острогу дополнительными фортификационными элементами, включая земляные валы и рвы.

Для дальнейших исторических исследований Албазин представляет собой ценный пример того, каким образом в XVII веке на Дальнем Востоке трансформировались отдельные укрепленные пункты в полноценные опорные базы, вокруг которых концентрировались земляные работы, хозяйственные постройки и склады боеприпасов. Именно в этом ключе Албазинский острог стал своеобразной «моделью» для других дальневосточных острогов, которые строили по схожим принципам: они должны были одновременно выполнять военную и экономическую функции. Следовательно, его роль нельзя недооценивать, когда речь заходит о формировании русских владений в Приамурье и попытках использовать Амур в качестве главной транспортной магистрали для всей Восточной Сибири.

При этом Албазин оставался достаточно изолированным, ведь сообщения с центром шли долго, а в случае военной угрозы подмога могла прийти лишь спустя длительное время, если вообще добиралась до места. Всё это накладывало особый отпечаток на характер быта его жителей и принципы самообеспечения гарнизона. Необходимо было выращивать злаки на месте, искать источники

соли, производить ремонт орудий в кузнице острога и надеяться на собственные резервы в случае конфликта. Подобные обстоятельства делали Албазин ярким символом сурового пограничья, где, несмотря на тяжёлые условия жизни, укреплялась власть и закладывались основы будущей инфраструктуры российского Дальнего Востока.

1.3 Существующие решения по компьютерной реконструкции осады

Несмотря на важность исторических событий, связанных с осадой Албазинского острога, в современном поле компьютерных реконструкций они освещены достаточно скромно. Большие проекты, занимающиеся воссозданием средневековых сражений или иных ярких эпизодов истории, преимущественно фокусируются на событиях, которые имеют более широкий мировой резонанс или связаны с известными архитектурными памятниками, сохранившимися в достаточно целостном виде. Албазин же, находящийся на Дальнем Востоке и имеющий локальную специфику, остаётся в стороне от крупных международных программ.

Тем не менее отдельные энтузиасты, объединённые интересом к истории Приамурья, предпринимали попытки создать цифровые макеты острога. В ряде случаев такие инициативы остаются на любительском уровне, когда небольшой коллектив или даже один человек на основе сохранившихся планов и описаний пытается в программах 3D-моделирования воссоздать укрепления, валы, внутренние постройки и примерный облик городка XVII века. Столь энтузиастский подход имеет ряд преимуществ в плане гибкости, отсутствия бюрократических барьеров и возможности оперативно корректировать модель. Однако отсутствие серьёзной финансовой поддержки или системы экспертной проверки приводит к тому, что реконструкции зачастую не обладают высокой детализацией и могут опираться лишь на ограниченный набор источников.

Существуют и научные проекты, которые могли бы включать Албазинский острог в свою сферу интересов, но чаще всего эти проекты касаются более масштабных тем по истории Сибири и Дальнего Востока, не уделяя осаде острога глубокого внимания. В таких проектах могут быть использованы методы

исторической геоинформатики, позволяющие анализировать карту XVII века, накладывать сведения об изменении береговых линий Амура и делать выводы о причинах выбора места для строительства крепости. Однако при этом создаваемые 3D-модели или интерактивные приложения часто носят вспомогательный характер и не претендуют на комплексную виртуальную реконструкцию всех этапов осады.

В то же время стоит упомянуть о разработке, выполненной несколько лет назад магистрантом из Амурской области. В данной работе для создания ландшафта использовались данные SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), которые обеспечили базовый рельеф территории вокруг Албазина. Помимо этого, автор проекта применил ранее созданные 3D-модели самого острога, а также провёл большую работу по определению предполагаемого местоположения войск, укреплений и элементов окружающего ландшафта. Решение позволило хотя бы в общих чертах погрузиться в атмосферу XVII века и визуально представить, как мог выглядеть Албазин во время осады, что, безусловно, стало серьёзным шагом вперёд для местного краеведения и исторической популяризации. Сама 3D-реконструкция представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Компьютерная реконструкция с помощью SRTM

Однако сейчас данная реконструкция можно оценить как недостаточно достоверную: использование одних лишь данных SRTM не позволило полностью

передать особенности реального рельефа той эпохи, а точность воссоздания позиций войск и укреплений оставляет желать лучшего ввиду отсутствия более детальной архивной и археологической информации.

Ещё одним примером попытки воссоздать первую осаду Албазинского острога стала более ранняя реконструкция, созданная без применения трёхмерных моделей. В этом проекте авторы сделали упор на детальный разбор того, какое вооружение использовали русские и китайские войска, как могли выглядеть их орудия и боеприпасы, а также каким образом, исходя из доступных описаний, выглядели башни, укрепления и сам острог. Дополнительно в данном решении была предпринята попытка сопоставить данные российских и китайских летописных источников, чтобы описать ход осады более полно: приводились сведения о численности войск, их тактике и стратегии. Реконструкция осады представлена на рисунке 6.

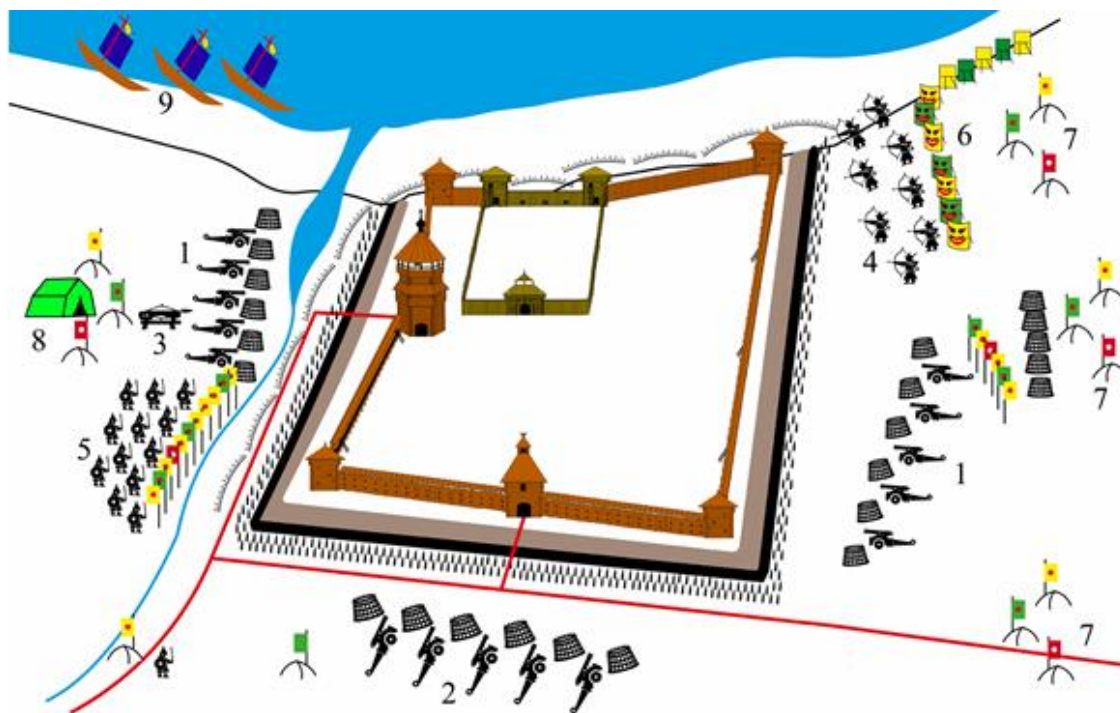


Рисунок 6 – Реконструкция осады Албазинского острога 1865 года

Тем не менее, при всей ценности такого подхода, реконструкция оказалась недостаточно полной и реалистичной. Во-первых, отсутствие трёхмерных моделей снизило её наглядность: пользователю или исследователю сложно составить цельное представление об архитектурном облике укреплений и особенностях

рельефа. Во-вторых, многие аспекты боевых действий (например, передвижение войск вокруг острога, расположение земляных валов и брустверов, уязвимые зоны для обстрелов) остаются лишь описанными словами, что не всегда позволяет точно воссоздать картину сражения. В-третьих, достоверность некоторых деталей также вызывает вопросы, поскольку во многих случаях авторы опирались на неоднозначные или противоречивые текстовые источники без дополнительных методов проверки, таких как сопоставление с археологическими находками или учёт геоинформационных данных о ландшафте.

Все эти ограничения подчёркивают необходимость создания новой, максимально достоверной и реалистичной компьютерной реконструкции осады Албазинского острога. Такая реконструкция должна объединять сильные стороны предыдущих проектов: детальный анализ вооружения и военной тактики, учёт различных источников и описаний хода осады, а также возможности 3D-моделирования и исторической геоинформатики. Именно комплексное использование архивных материалов, современных ГИС-систем, трёхмерных технологий и экспертных оценок историков, археологов и реконструкторов способно дать нам наиболее полное представление о том, как выглядел острог и разворачивались боевые действия во время первой осады. Такой подход будет не только более наглядным и увлекательным, но и послужит качественной исследовательской базой для дальнейшего изучения событий на дальневосточных рубежах России в XVII веке.

Ещё одна возможность ознакомления с историей Албазинского острога — это локальные краеведческие музеи и региональные сайты, где встречаются простые интерактивные карты и краткие исторические справки, а также могут находиться макеты-реконструкции самого острога. В некоторых случаях присутствуют элементы виртуальных туров, когда на сайте музея можно посмотреть схематичные трёхмерные зарисовки острога или увидеть фрагменты реконструкции, основанной на археологических данных. Такие решения позволяют широкому кругу людей впервые узнать об этом эпизоде, проникнуться атмосферой старинного российского форпоста на Амуре, но, как правило, не предлагают

глубокого научного анализа ни осады, ни военных действий, ни архитектурных деталей укрепления. Пример макета представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Макет Албазинского острога

Основной проблемой почти всех существующих попыток создать качественную физическую и компьютерную реконструкцию первой осады Албазина остаётся нехватка достаточного числа достоверных исторических материалов. Многие документы XVII века содержат лишь косвенные упоминания о размере острога, высоте стен, количестве башен и орудий, характере земляных валов и частоколов. Описания в дневниках и донесениях крайне лаконичны и к тому же могут противоречить друг другу. Серьёзные археологические исследования, которые помогли бы выявить остатки стен и башен, тоже проводились фрагментарно и не всегда сопровождались подробной фиксацией находок в цифровом виде. Следовательно, реконструкторам приходится комбинировать обрывочные сведения, стараясь не противоречить ключевым источникам и здравому смыслу в оценке того, какой могла быть крепость.

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

2.1 Общая схема решения задачи

Компьютерная реконструкция первой осады Албазинского острога предполагает поэтапный подход, в основе которого лежит тщательный анализ исторических материалов и разнообразных географических данных. На первом этапе изучаются архивные документы, свидетельства очевидцев, старые планы и карты, позволяющие определить расположение ключевых объектов, характерные особенности рельефа и ландшафта, а также уточнить детали оборонительных сооружений. Не менее важны современные топологические планы с высотами: они позволяют восполнить недостающие данные и дополнить старые карты, если последние содержат неточности или пробелы в информации. При отсутствии качественных исторических изображений местности для уточнения рельефа могут использоваться новые геодезические съёмки, данные аэрофото-съёмки или иные источники топографической информации, которые дают представление о высотах и контуре ландшафта. Пример такого плана представлен на рисунке 8.

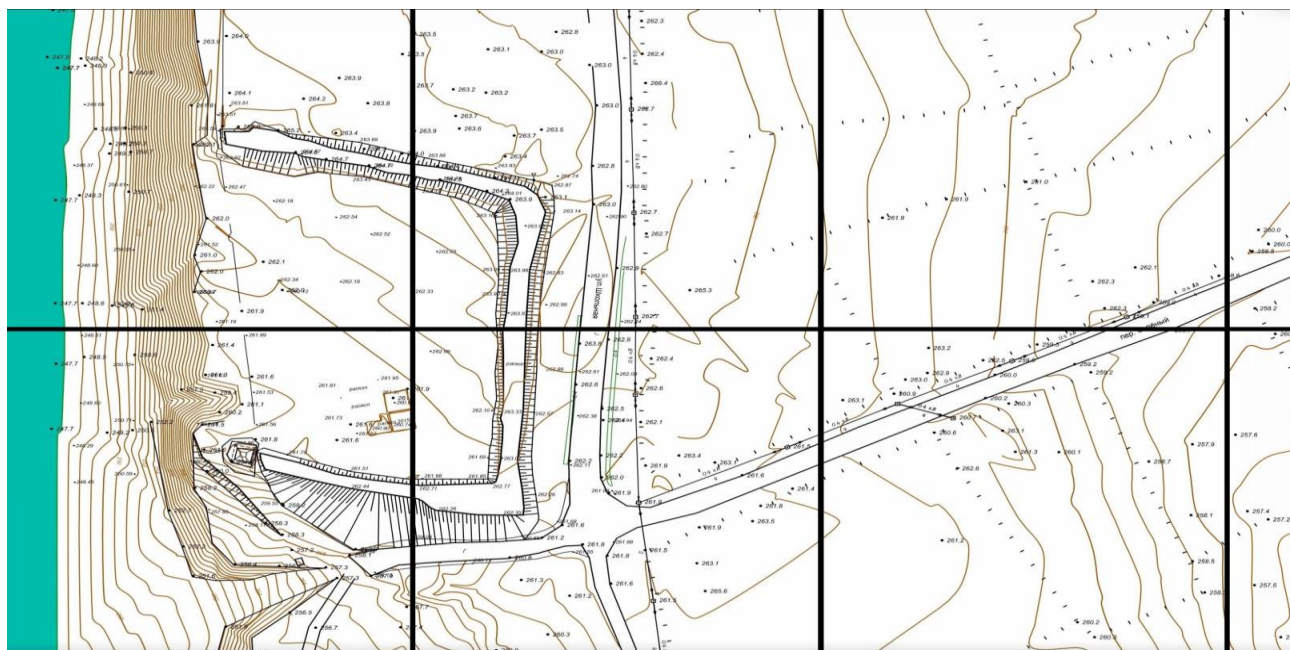


Рисунок 8 – Пример топографического плана.

Для облегчения работы с топографическими планами могут быть задействованы специализированные CAD-системы, обеспечивающие автоматизацию

ряда задач и точное совмещение разрозненных данных. Например, с помощью средств автоматической оцифровки и привязки координат возможно более эффективно проводить корреляцию между старыми картами и современными планами. Это значительно ускоряет процесс воссоздания рельефа и расположения объектов, позволяя уделить больше внимания художественной и исторической точности.

Следующим шагом является сопоставление (корреляция) старых и новых планов, чтобы установить, какие конкретные элементы необходимо воссоздать и в каком виде они существовали в период осады. На этом этапе важно определить точное расположение укреплений острога, жилой части поселения (посада), прилегающих лесных массивов, пашен и мест дислокации китайских войск. Одновременно изучаются архивные описания, которые могут подсказать расположение колодцев, складов или других объектов, игравших ключевую роль в обороне и повседневной жизни крепости. По итогам сопоставления рисунка из китайского атласа и плана местности собирается обобщённая схема местности, где отмечены все основные объекты, требующие последующего трёхмерного моделирования. Результат представлен на рисунке 9.

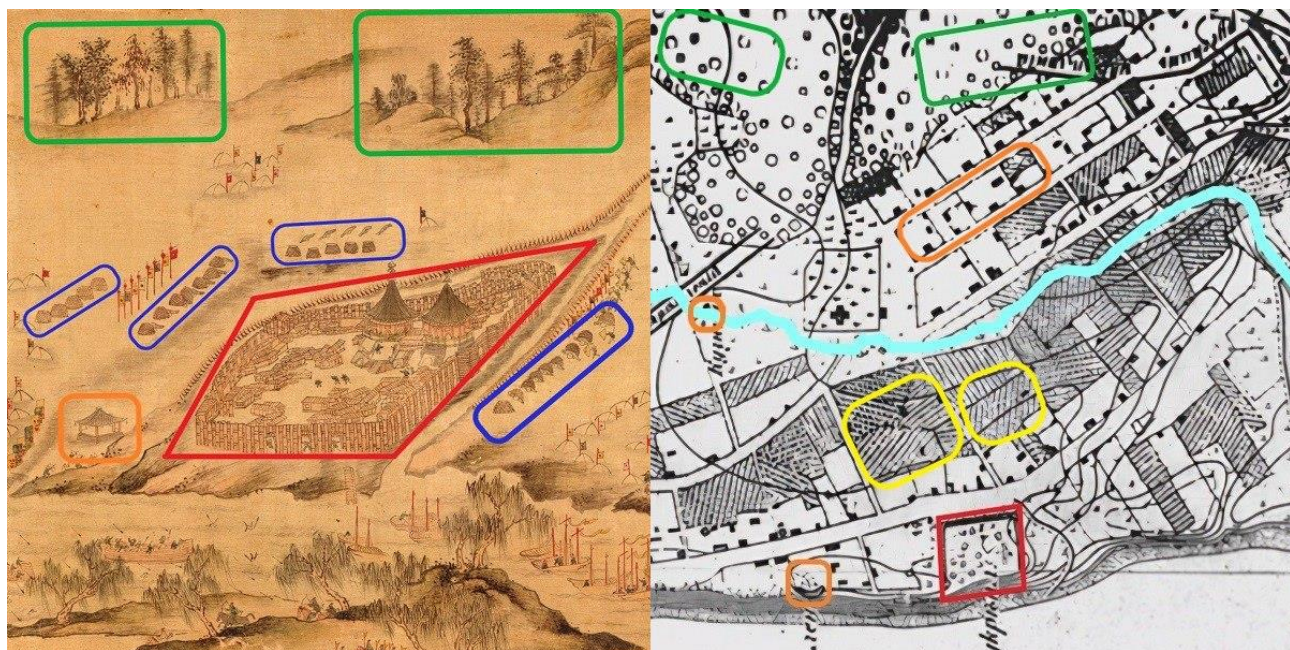


Рисунок 9 – Схема местности с основными моделируемыми объектами.

Когда общая структура ландшафта и расположение значимых точек определены, приступают к созданию модели местности. Этот процесс подразумевает

воссоздание рельефа с учётом исторических перепадов высот, береговых линий, русел рек и других природных особенностей. Важно добиться максимальной реалистичности, ориентируясь на исторические свидетельства о характере почвы, растительности, а также на современные данные о климатических и геологических условиях. На этом этапе можно задействовать разные способы формирования и детальной проработки поверхности: от ручного редактирования рельефа до процедурных методов, которые автоматически генерируют контуры на основе заданных параметров.

После создания базовой геометрии рельефа начинается процесс текстурирования, призванный придать поверхности естественный вид. Здесь используют различные типы материалов и карт, помогающих воссоздать фактуру земли, травы, песка, камней и болотистых зон. Например, могут применяться карты нормалей для рельефного отображения микродеталей почвы, карты шероховатости для регулирования блеска и отражающих свойств, а также карты высот для тонкой проработки границ между различными поверхностями. Комбинация нескольких слоёв текстур позволяет добиться плавных переходов между зонами, делая ландшафт более реалистичным и живым.

Чтобы усилить впечатление погружения в историческую обстановку, дополнительно настраиваются эффекты освещения и атмосферные явления. Используются как глобальные источники света, имитирующие солнечные лучи, так и локальные точечные или рассеянные источники, создающие акценты и глубину сцены. При необходимости вводятся эффекты тумана или дымки, способствующие передаче атмосферы раннего утра, осенней сырости или военного дыма, который мог возникать во время осады. Влияние рассеянного света, мягкие тени и объёмный туман помогают сконцентрировать внимание на ключевых деталях и воссоздать аутентичное ощущение нахождения внутри исторического события.

Для более реалистичной передачи окружающей среды могут применяться динамические эффекты освещения. Это даёт возможность корректировать интенсивность и направление света в зависимости от времени суток или погодных условий, если реконструкция предполагает разные сценарии развития событий.

Кроме того, прорабатываются отражения на поверхности воды или влажной земли, что усиливает правдоподобие сцены. Все эти элементы – от выбора правильно скомбинированных текстур до продуманной системы освещения – позволяют воссоздать атмосферу и визуальную достоверность, соответствующую историческим реалиям первой осады Албазинского острога.

Завершив работу над ландшафтом, переходят к расстановке основных трёхмерных объектов. В первую очередь это строения острога: стены, башни, ворота, внутренние здания и фортификационные сооружения. Наряду с этим воссоздаются жилые постройки, церковь, хозяйственные дворы и другие элементы, зафиксированные в исторических документах. Для создания указанных моделей могут применяться профессиональные средства трёхмерного графического моделирования: они позволяют точно прорабатывать архитектурные элементы, задавать масштаб и форму, а также детализировать внешний облик построек. При этом конкретные наименования программных пакетов не являются принципиальными, важно лишь, чтобы они обеспечивали необходимый функционал для высокоточной и реалистичной реконструкции.

После размещения основных элементов в сцене воссоздаются временные лагеря (например, палатки) и войска, расставленные по ключевым позициям согласно известным данным об осадных действиях. В ландшафт могут быть добавлены деревья, телеги, костры и другие объекты, упоминаемые в свидетельствах или логично вытекающие из контекста событий. Таким образом, окончательная сцена формируется путём объединения моделированной местности, детализированных строений и дополнительных элементов, отражающих историческую обстановку периода первой осады Албазинского острога.

Таким образом, общая схема решения задачи включает в себя анализ исторических и картографических источников, получение современных топографических данных, корреляцию разных планов с помощью CAD-систем, а также этапы моделирования, текстурирования и наполнения сцены трёхмерными объектами. Этот комплексный подход позволяет добиться максимально достоверной и выразительной реконструкции событий, передавая не только внешнюю

форму крепости и окружающих территорий, но и атмосферу эпохи, в которой происходила первая осада Албазина.

2.2 Обзор профильного программного обеспечения

Создание компьютерной реконструкции первой осады Албазинского острога представляет собой сложный и многоэтапный процесс, требующий использования специализированного программного обеспечения. Для достижения высокого уровня детализации и исторической достоверности необходимо применять инструменты, обеспечивающие полный цикл разработки трёхмерной сцены, включая моделирование, текстурирование, настройку освещения, камер и финальную визуализацию. В рамках проекта задействованы как универсальные, так и специализированные программные решения, которые позволяют воспроизвести рельеф местности, воссоздать архитектуру укреплений, а также расположить военные подразделения, принимающие участие в осаде. Выбор программного обеспечения определяется его функциональными возможностями, удобством работы с графическими ресурсами, совместимостью между различными средами и способностью обеспечивать высокое качество визуализации в реалистичном или стилизованном формате.

Среди наиболее распространённых программных средств, применяемых для создания трёхмерных моделей, можно выделить несколько решений, каждое из которых имеет свою специфику и набор уникальных возможностей. Blender является бесплатным и открытым пакетом для 3D-моделирования, анимации и рендеринга, обладающим широким функционалом, охватывающим полигональное моделирование, скульптинг, работу с кривыми и процедурное построение геометрии. Он предоставляет встроенные рендер-движки, позволяющие осуществлять как фотореалистичный, так и быстрый рендеринг, поддерживает автоматизацию с помощью скриптов на Python и содержит множество обучающих материалов, что делает его доступным для широкого круга пользователей. Рабочая область Blender представлена на рисунке 10.

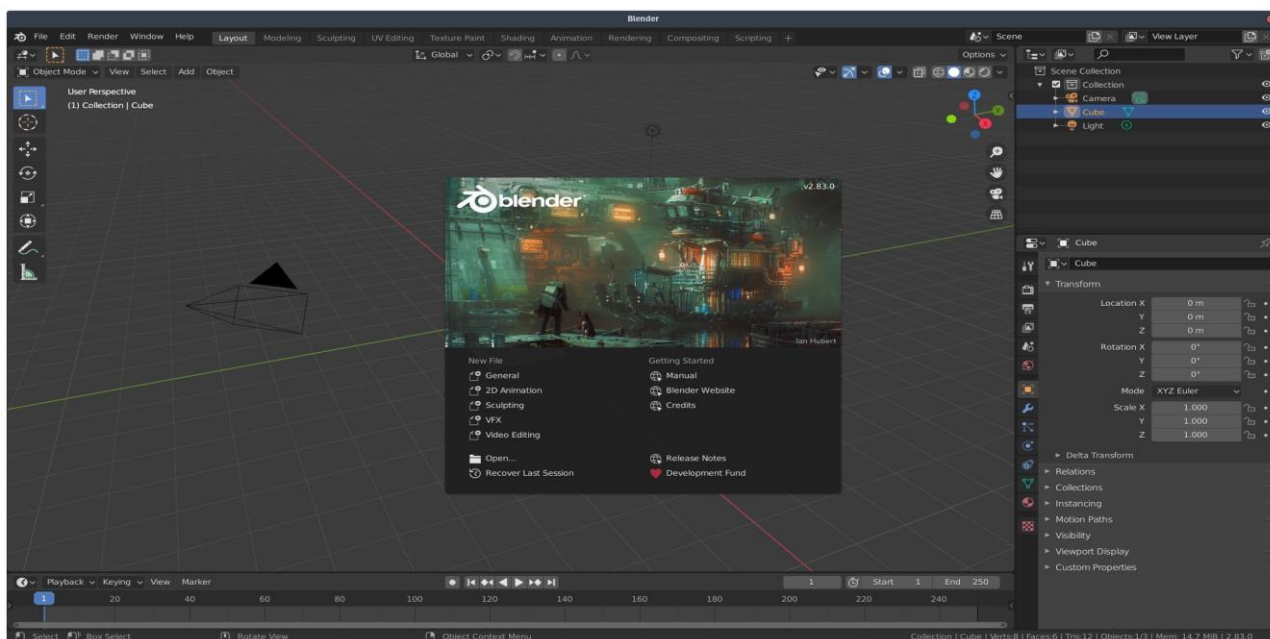


Рисунок 10 – Рабочее окно Blender.

Коммерческий продукт Autodesk 3ds Max широко используется в архитектуре и дизайне, обеспечивая удобную интеграцию с другими программными решениями Autodesk (AutoCAD, Revit). На рисунке 11 представлено рабочее окно.

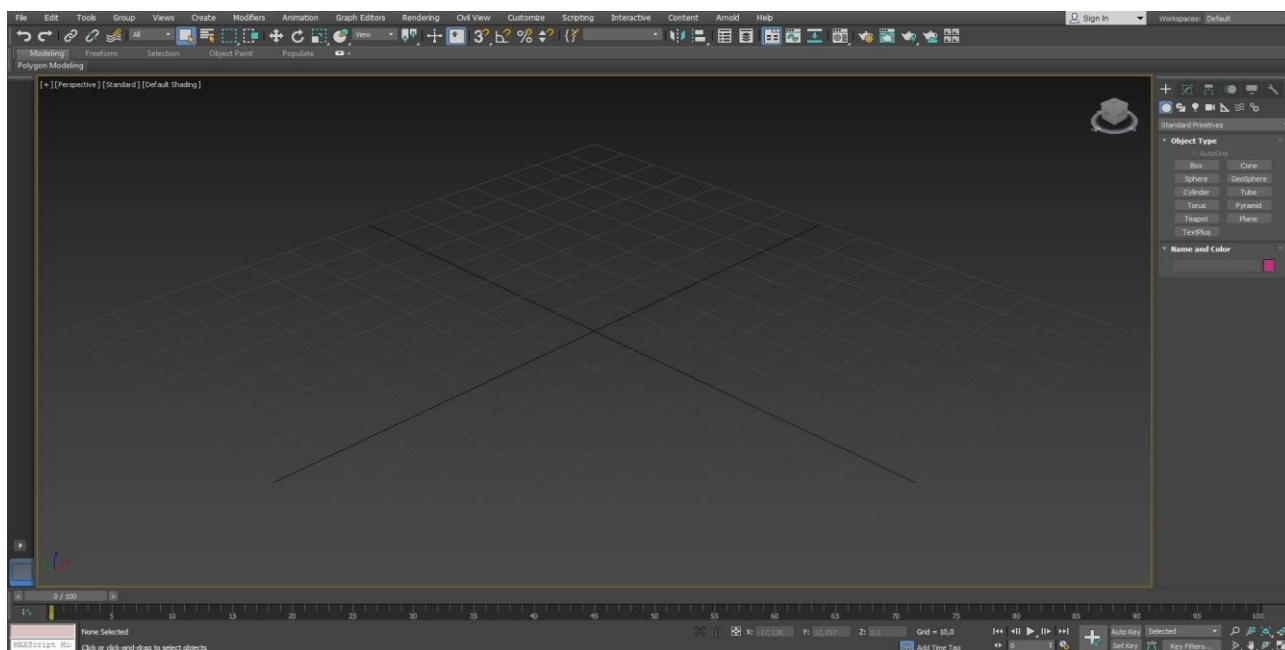


Рисунок 11 – Рабочее окно 3ds Max.

Он предлагает развитые плагины и обширные библиотеки материалов, облегчая процесс визуализации, а также поддержку профессиональных рендер-движков, таких как V-Ray и Corona. Autodesk Maya, будучи одним из ключевых стандартов в кинематографе и игровой индустрии, фокусируется на анимации и

приложениями. Maya чаще выбирают для сложных кинематографических анимаций, а ZBrush позволяет достигать исключительной детализации скульптов. Cinema 4D при этом подходит для быстрого создания анимированной графики и моушн-дизайна. Многие специалисты сочетают возможности сразу нескольких программ, чтобы получить наилучший результат при создании трёхмерных сцен.

Говоря о программном обеспечении, используемом для точного проектирования и подготовки трёхмерных моделей, нельзя обойти стороной CAD-системы, представляющие собой специализированные инструменты для архитекторов, инженеров и конструкторов. Одним из наиболее известных решений является AutoCAD, программа от компании Autodesk, которая исторически считается одним из промышленных стандартов. AutoCAD обеспечивает удобный интерфейс для создания и редактирования как двухмерных, так и трёхмерных чертежей. Он предоставляет обширный набор инструментов для точного позиционирования и масштабирования объектов, а также для управления слоями, параметрическими зависимостями и библиотеки типовых элементов. Кроме того, AutoCAD поддерживает различные форматы обмена данными, что упрощает процесс совместной работы с другими приложениями внутри крупного проекта. Встроенные функции автоматической генерации чертежей и спецификаций значительно ускоряют рабочий процесс, а многопользовательский режим и системы контроля версий повышают эффективность при работе в команде.

Главным плюсом AutoCAD считается его универсальность и широкая сфера применения, охватывающая архитектурное проектирование, гражданское строительство, машиностроение, ландшафтный дизайн и другие области, где необходима точность при создании чертежей и цифровых макетов. Программа позволяет детально прорабатывать форму будущих объектов и с высокой точностью указывать их размеры, что создаёт основу для дальнейшей интеграции в 3D-сцены. Кроме того, AutoCAD хорошо интегрируется с другими продуктами Autodesk и сторонним софтом, что облегчает импорт и экспорт сложных моделей, а также обмен файлами между специалистами разных профилей. Благодаря скриптовым функциям и возможности работы с макросами, AutoCAD легко

подстраивается под конкретные требования пользователя, оптимизируя рутинные процессы создания чертежей. Наконец, распространённость этого решения гарантирует широкую базу обучающих материалов и наличие квалифицированных специалистов, что положительно сказывается на скорости реализации проектов.

Помимо AutoCAD существуют и другие CAD-системы, каждая из которых предлагает собственный набор инструментов для проектирования. К примеру, Revit от той же компании Autodesk делает акцент на методологии информационного моделирования зданий (BIM) и автоматически генерирует архитектурные и инженерные чертежи на основе единой модели. ArchiCAD ориентируется на архитекторов, позволяя в удобном режиме проектировать здания, создавать фотореалистичные визуализации интерьеров и экстерьеров, а также выпускать рабочую документацию. SolidWorks чаще используется в машиностроительной отрасли, предоставляя развёрнутый функционал для параметрического моделирования и расчёта механических систем. Все эти решения, будучи CAD-платформами, фокусируются на точности и структурированном подходе, что помогает создавать модельный фундамент, впоследствии дополняемый деталями, визуальными эффектами и анимацией в узкоспециализированных 3D-пакетах.

Таким образом, CAD-системы, и, в частности, AutoCAD, играют важную роль в компьютерной реконструкции исторических объектов, поскольку позволяют с высокой степенью точности воспроизводить чертежи, планы и геометрию будущих моделей. Их преимуществами являются многопрофильная применимость, точность создания и редактирования геометрии, богатая экосистема обучающих ресурсов и интеграция с различными форматами. Эти возможности упрощают процесс корреляции исторических планов с современными данными, обеспечивая корректное позиционирование укреплений, зданий или ландшафтных элементов в дальнейшем 3D-моделировании.

Современные игровые движки играют ключевую роль в создании интерактивных и фотореалистичных 3D-сцен, позволяя визуализировать проработанные модели, проецировать на них физические эффекты и задавать сложные сценарии

поведения объектов. Одним из наиболее популярных решений для подобных задач является Unreal Engine 5. Он поддерживает передовые технологии, такие как Nanite, позволяющая эффективно обрабатывать огромное количество полигонов без значительной потери производительности, и Lumen, обеспечивающая динамическую глобальную иллюминацию в реальном времени. Благодаря этим инструментам разработчики могут получить высокую степень реалистичности освещения и детализированные модели даже в сценах со множеством объектов. Unreal Engine 5 также предлагает удобные средства для работы с системами частиц, настройкой физики, анимацией персонажей и постобработкой. Важным преимуществом движка является продвинутая система материалов, основанная на физически корректном рендеринге (PBR), которая помогает добиться точной передачи свойств различных поверхностей. Кроме того, встроенный визуальный скриптовый язык Blueprints упрощает процесс программирования, делая его более доступным для специалистов, не обладающих глубокими знаниями в области кода.

Ещё одним широко распространённым игровым движком является Unity. Он отличается кроссплатформенностью и гибкостью, что делает его популярным выбором для разработчиков мобильных приложений и инди-игр. Unity имеет удобный интерфейс и модульную структуру, позволяя относительно быстро осваивать базовые инструменты и подключать нужные плагины. Среди особенностей движка можно отметить развёрнутую систему шейдеров, инструменты для настройки анимации и встроенный физический движок. Unity также предлагает возможности для сетевых проектов и межплатформенной интеграции: одну и ту же сцену при должной оптимизации возможно запустить на настольных компьютерах, мобильных устройствах и даже в браузерном режиме. При этом для достижения фотореалистичного уровня детализации может потребоваться установка дополнительных пакетов рендеринга (например, High Definition Render Pipeline), которые нуждаются в более тонкой настройке, чем базовые средства Unreal Engine. Дополнительно, Unreal Engine интегрирован с Quixel Bridge, предоставляя доступ к обширной библиотеке ассетов Megascans. Эта

библиотека содержит фотореалистичные сканы различных природных и искусственных объектов: от травы и камней до архитектурных деталей и элементов декора. Активы Megascans легко импортируются в проект, автоматически настраиваются под физически корректную модель освещения и при необходимости могут редактироваться в редакторе материалов. Такое решение значительно ускоряет процесс наполнения сцены высококачественным контентом, экономя время на создании индивидуальных текстур и моделей.

Помимо Unreal Engine и Unity существуют и другие решения, имеющие свои сильные стороны. CryEngine славится впечатляющей проработкой природных ландшафтов и реалистичной симуляцией внешних условий, таких как погода и физика взаимодействия объектов с окружающей средой. Он часто применяется при создании шутеров и проектов с обширными открытыми пространствами, хотя для работы с CryEngine требуется достаточно высокопроизводительное оборудование, и освоение его системы инструментов может быть более сложным. Godot, являясь полностью открытым и бесплатным движком, привлекает энтузиастов, желающих участвовать в развитии платформы с открытым исходным кодом. В нём реализована простая и понятная система сцен, скриптов и узлов, что делает движок дружелюбным к начинающим разработчикам. При этом в графическом плане Godot пока уступает более мощным конкурентам, хотя сообщество непрерывно трудится над улучшением его визуальных возможностей.

Таким образом, при выборе игрового движка для компьютерной реконструкции исторических событий необходимо учитывать задачи и приоритеты проекта: необходимость фотореалистичного освещения, удобство импорта высокополигональных моделей, гибкость настройки камеры и анимации, а также наличие соответствующего опыта у разработчиков. Unreal Engine 5 даёт впечатляющие возможности по созданию реалистичных сцен с динамическим освещением и объёмной геометрией, Unity лучше подходит для быстрого прототипирования и кроссплатформенной разработки, CryEngine демонстрирует сильные стороны в проработке природных окружений, а Godot представляет собой

упрощённый инструмент с открытым исходным кодом. Каждый из этих движков способен послужить надёжной платформой для демонстрации трёхмерных моделей, интерактивного изучения пространства и воспроизведения исторических баталлий.

2.3 Детальная схема решения задачи

Процесс создания компьютерной реконструкции первой осады Албазинского острога можно представить в виде связной последовательности действий, которая охватывает все аспекты работы: от сбора исторических данных до финальной визуализации сцены. Алгоритм начинается с тщательного изучения архивных материалов, включая планы, чертежи, письменные отчёты очевидцев и географические описания местности. На этом этапе важно сопоставить различные источники, чтобы получить наиболее достоверное представление о том, как выглядел острог и прилегающая к нему территория. Особое внимание уделяется картам той эпохи и сохранившимся планам крепости, по которым можно определить основные габариты укреплений, расположение башен, ворот, рвов, а также взаимное расположение жилых построек и хозяйственных сооружений. Эти сведения дополняются анализом современных топографических данных, если необходимо уточнить особенности рельефа или реального ландшафта местности.

Когда информация собрана и проанализирована, следующим шагом становится использование средств точного проектирования. В данном случае особенно полезен AutoCAD, так как он даёт возможность работать с чёткой геометрией и размерами. На базе исторических данных и топографической информации в AutoCAD создаются 2D-чертежи или, при необходимости, формируются упрощённые трёхмерные модели. Важно добиться максимального соответствия исходному историческому чертежу, чтобы впоследствии реконструкция не только выглядела правдоподобно, но и соответствовала реальным пропорциям укреплений и зданий. Пример полученной сетки из кривых на 2D-чертеже представлен на рисунке 13.

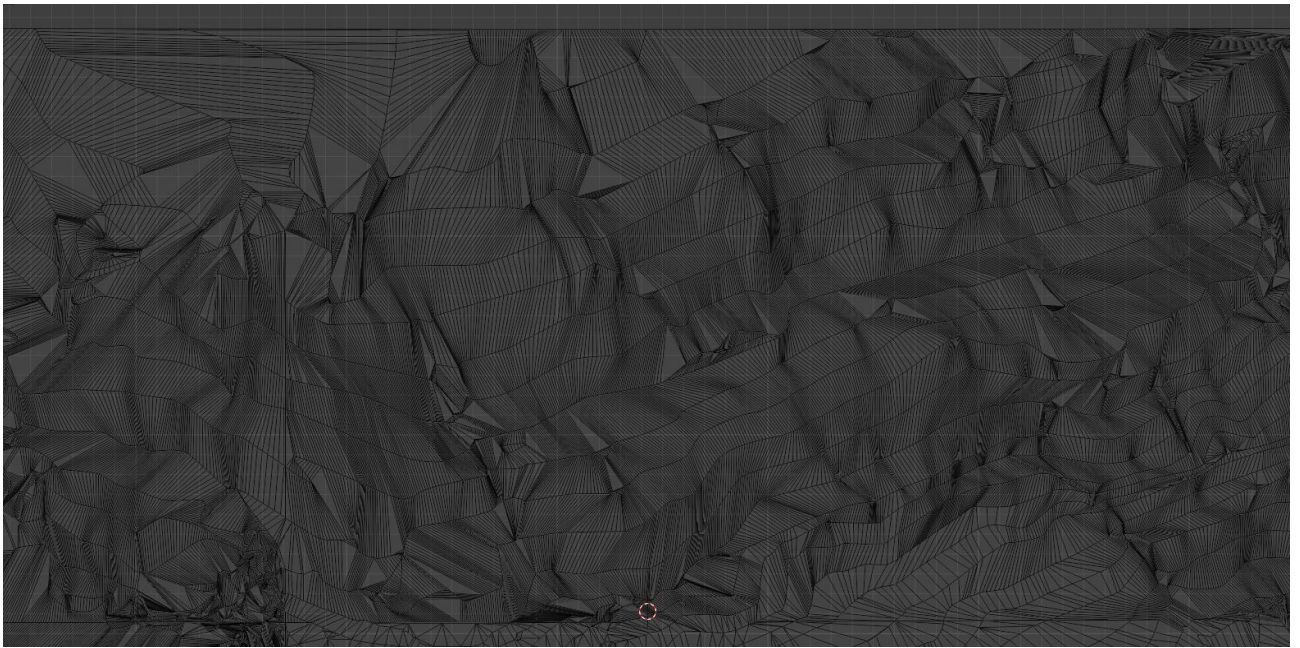


Рисунок 13 – Кривые высот

После завершения работы в AutoCAD модель экспортируется в формат DXF, который с высокой точностью передаёт геометрию, слои и прочие параметры, сохраняющие первоначальную структуру проекта.

Следующий этап связан с творческой проработкой сцены в условиях трёхмерной графики. DXF-файл, полученный из AutoCAD, импортируется в 3D-редактор, где модели и планы подвергаются дальнейшей обработке, детализированию и художественному оформлению. Дополняются недостающие элементы, уточняются органические формы, такие как изгиб береговой линии, высокогорные участки, овраги или рельефные особенности, которые в формате чертежа часто отображаются лишь в условном виде. Подготовленная таким образом трёхмерная сцена обретает глубину и множество мелких деталей, необходимых для создания живого, исторически правдоподобного окружения. Здесь же проводится масштабирование и расстановка потенциальных объектов, включая деревья, модели военных подразделений и реквизит (пушки, телеги, ворота, мосты).

Когда общий облик острога и окружающей его территории окончательно сформирован, начинается детальная настройка материалов, рельефа и освещения уже в игровой среде, такой как Unreal Engine 5. Движок используется для финальной визуализации благодаря своим возможностям в рендеринге, симуляции физики, проработке глобального освещения и интеграции с библиотекой ассетов

Quixel Megascans. В Unreal Engine 5 легко настроить динамические источники света, добавить эффекты погоды, тумана или дыма, а также прописать различное поведение элементов сцены в режиме реального времени. На этом этапе могут создаваться анимированные пролёты камеры, специфические постэффекты (глубина резкости, хроматические аберрации, виньетирование), а также оптимизироваться производительность за счёт уровней детализации (LOD) и корректной настройки теней. Результатом бывает как серия статичных высококачественных визуализаций, так и интерактивная сцена, которую пользователь может исследовать самостоятельно.

Завершённая реконструкция проходит этап тестирования, где проверяется корректность отображения текстур, отсутствие коллизий и ошибок в геометрии, а также плавность работы на разных конфигурациях ПК, если речь идёт об интерактивном проекте. В случае обнаружения несоответствий модель корректируется, после чего готовая сцена демонстрируется заинтересованным сторонам в удобном формате – видеоролик, серия рендеров или полноценное трёхмерное приложение.

После описания общего алгоритма стоит отдельно подчеркнуть значимость Blender в рабочем процессе. Это универсальное и полностью бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом, которое сочетает в себе весь необходимый инструментарий для 3D-моделирования, скульптинга, риггинга, анимации, текстурирования и рендеринга. Одним из главных преимуществ Blender является простота импорта и экспорта различных форматов, в том числе DXF, что позволяет без особых проблем интегрироваться с результатами работы из AutoCAD. Когда модель острога или планы местности создаются сначала в чертёжной среде, а затем отправляются в Blender, художники могут максимально быстро приступить к детализации и дальнейшей проработке сцены.

В Blender существует множество способов моделирования: от классического полигонального подхода, где каждое ребро и грань редактируются вручную для получения нужной формы, до скульптинга, который воспроизводит процесс цифровой лепки и помогает добавлять органику и мелкие черты

естественных рельефов. Узловой редактор шейдеров даёт простор для создания многослойных материалов с картами нормалей, шероховатости, отражений, высот и окружения, что критически важно для имитации поверхности дерева, камня, металла или земли. Развитая система рендеринга в Blender (Cycles и Eevee) позволяет быстро просматривать прогресс работы и даже получать предфинальные варианты визуализации. Если сцена должна выглядеть фотореалистичной, Cycles лучше подходит для проверки качества освещения и материалов, а Eevee даёт возможность оперативно увидеть изменения практически в режиме реального времени, что крайне удобно при корректировках и экспериментах над обликом крепости или ее окружения.

Помимо этого, в Blender существует возможность автоматизации рутинных операций с помощью Python-скриптов и дополнительных аддонов, позволяющих, к примеру, сразу задать схожие настройки материалов для нескольких десятков объектов или же массово импортировать ассеты в сцену. Поскольку проект по исторической реконструкции часто включает десятки или даже сотни уникальных элементов, наличие такой функциональности экономит массу времени. К достоинствам Blender следует причислить и активное сообщество: вокруг программы создано множество обучающих курсов, видеоуроков и форумов, где можно найти ответы на самые разнообразные вопросы – от базовых приёмов моделирования до специфических тонкостей экспорта анимации в игровые движки.

AutoCAD был выбран в качестве одного из ключевых инструментов благодаря своим широким возможностям по работе с точными чертежами и топографическими планами, а также удобной интеграции с дальнейшим этапом трёхмерного моделирования в Blender. В рамках исторической реконструкции, где особое значение имеет соответствие реальным пропорциям и достоверное отражение рельефа, AutoCAD позволяет импортировать и обрабатывать данные топографического плана, используя детальные контуры высот и информацию о рельефе для последующей генерации точных 2D- или 3D-чертежей. При этом программа даёт возможность гибко управлять слоями, размерами и масштабом, чтобы наилучшим образом структурировать данные и сохранять верные

пропорции. AutoCAD является отраслевым стандартом в сфере архитектуры, инженерии и градостроительства, обеспечивая высокую точность и понятный формат хранения данных (например, DXF или DWG), которые легко передаются в Blender без потери геометрической информации. Кроме того, разработчики ценят обширные функции редактирования и инструменты параметрического проектирования, помогающие быстро вносить изменения в планы и учитывающие исторические чертежи, картографические данные и фактические размеры будущих сооружений. Наличие хорошо развитой базы обучающих материалов и опытных специалистов по AutoCAD упрощает процесс внедрения его в рабочий цикл, а поддержка обмена с другими продуктами компании Autodesk и сторонними приложениями делает его универсальным решением для подготовки точной цифровой модели, которая послужит фундаментом для дальнейшей детальной проработки сцены в Blender.

Unreal Engine 5 был выбран для финальной визуализации реконструкции благодаря передовым технологиям и широкому набору инструментов, которые делают процесс создания реалистичной и атмосферной сцены максимально удобным и эффективным. Во-первых, движок предлагает инновационную систему глобального освещения Lumen, позволяющую получать динамическое освещение в реальном времени. Это значит, что пользователи могут видеть, как меняется интенсивность и направление света при движении или смене времени суток, причём все поверхности на сцене корректно отражают эти изменения. Подобный подход обеспечивает фотореалистичность и значительно упрощает создание правдоподобной атмосферы осады, где источниками света могут служить как солнце, так и огонь факелов или горящих построек.

Не менее значимым преимуществом является технология Nanite, которая даёт возможность работать с высокополигональными моделями без явных потерь в производительности. В исторической реконструкции часто приходится использовать детализированные объекты (например, крепостные стены с многочисленными фактурами, модели оружия или амуниции), и Nanite избавляет от необходимости вручную оптимизировать каждую модель. Движок

автоматически подстраивает уровень детализации, что позволяет избежать просядок по частоте кадров и сохранять высокую чёткость при ближайшем рассмотрении объектов. Это особенно актуально, если в сцене присутствует большое число элементов, отображающих натуральный рельеф, деревья или декорации осадных укреплений.

Ещё одним важным фактором является гибкая система материалов, основанная на физически корректном рендеринге (PBR). Unreal Engine 5 даёт возможность создавать многослойные шейдеры, комбинирующие отражения, шероховатости, текстуры нормалей и прочие параметры, необходимые для реалистичной передачи материалов. Художники могут применять сложные узловые сети, чтобы добиться эффекта состаренной древесины, металлического блеска пушек или неровной поверхности камней, создавая ощущение подлинности эпохи. Эти материалы корректно взаимодействуют с освещением, обеспечивая точные оттенки теней и бликов, а также учитывая специфику формы объекта. На рисунке 14 представлен пример создания многослойной текстуры.

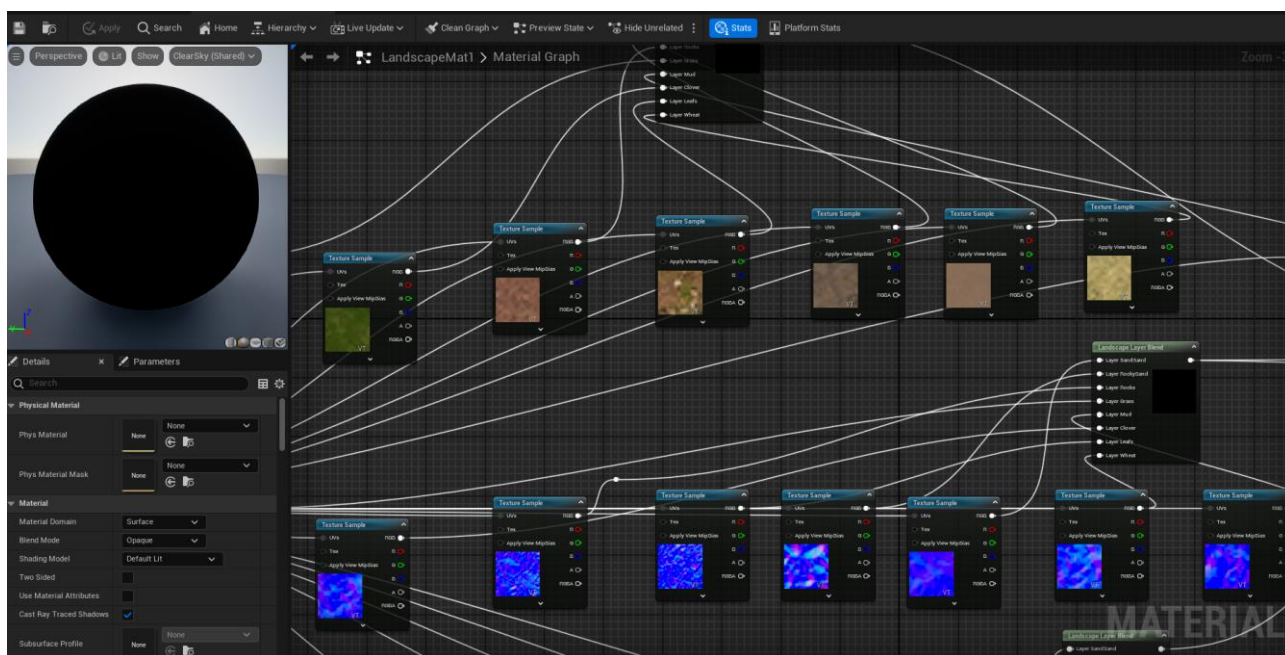


Рисунок 14 – Многослойная текстура

Отдельного внимания заслуживает тесная интеграция Unreal Engine 5 с библиотеками Quixel Megascans через Quixel Bridge. Благодаря этому у разработчиков всегда под рукой огромная коллекция фотореалистичных ассетов, включающая модели камней, деревьев, травы, различных архитектурных элементов и

других объектов, заснятых с помощью фотосканирования в реальных условиях. На рисунке 15 представлен интерфейс библиотеки Quixel Bridge.

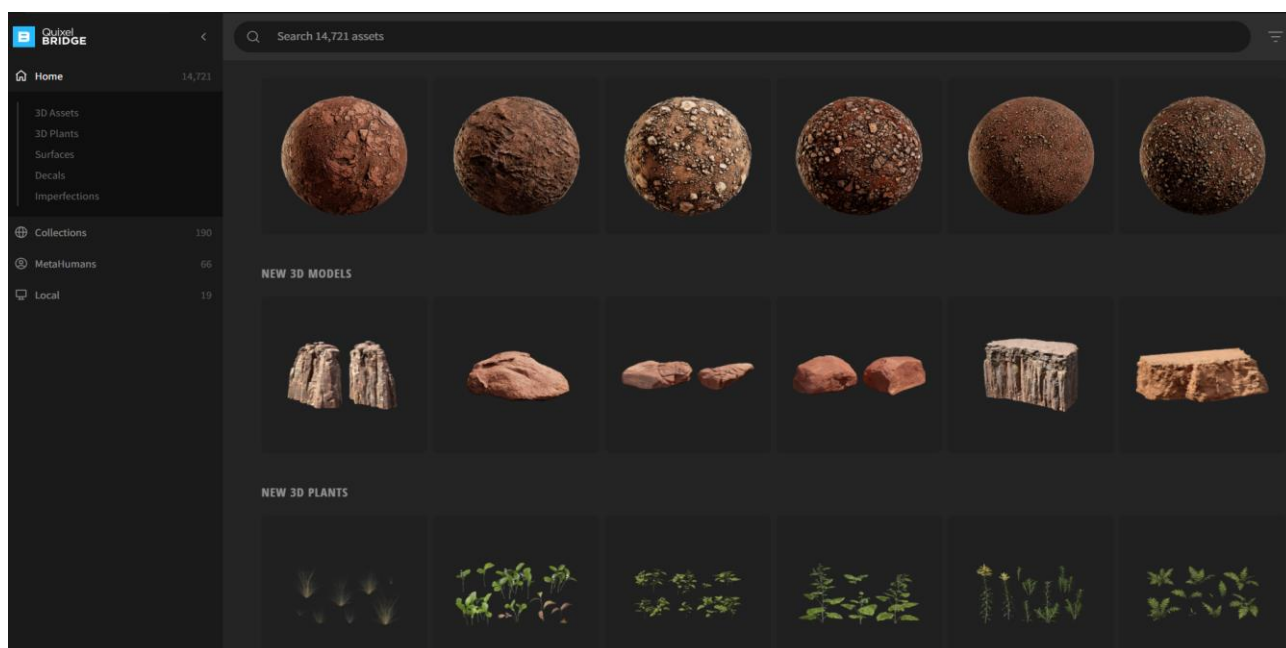


Рисунок 15 – Библиотека текстур и ассетов

При создании исторической реконструкции подобный контент может значительно упростить работу над окружением: достаточно подобрать подходящие ассеты и разместить их в сцене, моментально добиваясь желаемого уровня детализации. Кроме того, пользователь может редактировать материалы для адаптации их к специфике проекта, например изменять цвет или степень загрязнённости.

Обширные возможности постобработки дополняют общую картину. В Unreal Engine 5 легко настраиваются эффекты глубины резкости, виньетирования, размытия в движении, хроматической абберации и других визуальных фильтров, которые позволяют достичь кинематографического стиля и подчеркнуть драматические моменты осады. Эти инструменты особенно востребованы при создании анимированных пролётов камеры или игровых сцен, где важно акцентировать внимание зрителя на определённых деталях – например, на разрушенных участках стен или на защитниках крепости, отражающих очередную атаку. Вместе с тем игровой движок предлагает удобную систему управления камерами, что позволяет в реальном времени варьировать ракурсы, расставлять

анимационные треки, создавать переходы и плавные пролёты вдоль линии укреплений.

Сценарное и интерактивное управление сценой реализуется через Visual Scripting (Blueprints), позволяющий программистам и дизайнерам задавать логику поведения объектов без написания традиционного кода. С помощью этой функции можно создавать интерактивные элементы, регулируя анимацию персонажей, триггерные зоны, физические взаимодействия и эффекты, которые должны включаться при определённых условиях. Такая гибкость делает Unreal Engine 5 удобным не только для финального рендеринга, но и для организации полноценной интерактивной экскурсии по историческому острогу. Помимо этого, движок поддерживает расширенные системы частиц, что даёт возможность добавлять дым, пыль, искры и другие атмосферные эффекты, необходимые для воссоздания событий осады.

Не стоит забывать, что Unreal Engine 5 ориентирован на работу в режиме реального времени, что открывает возможности демонстрации реконструкции широким слоям аудитории. Пользователи могут самостоятельно исследовать осаждённые укрепления, подниматься на стены, рассматривать детали интерьера или наблюдать за передвижением военных юнитов. Это создаёт глубокое погружение в атмосферу того исторического периода, а высокая производительность движка позволяет достичь плавной картинки даже при больших нагрузках. При желании разработчики могут добавить многопользовательский режим, чтобы несколько человек могли одновременно перемещаться по сцене, участвовать в изучении локации и анализе тактических решений защитников и нападающих.

Важным плюсом Unreal Engine 5 является постоянная поддержка со стороны крупного сообщества и самой компании-разработчика. Регулярные обновления и патчи делают работу с движком удобнее, повышая стабильность и расширяя функционал. Для исторических реконструкций это означает, что со временем открываются новые инструменты и возможности, позволяющие ещё более точно воссоздать реальный рельеф и объекты культуры и быта. Сообщество художников, дизайнеров и программистов делится практическими наработками

и готовыми Blueprint-скриптами, упрощающими выполнение отдельных задач, а многочисленные обучающие материалы помогают быстро освоить новые функции движка. На рисунке 16 пример использования инструмента «Gizmo Data» для переноса рельефа.

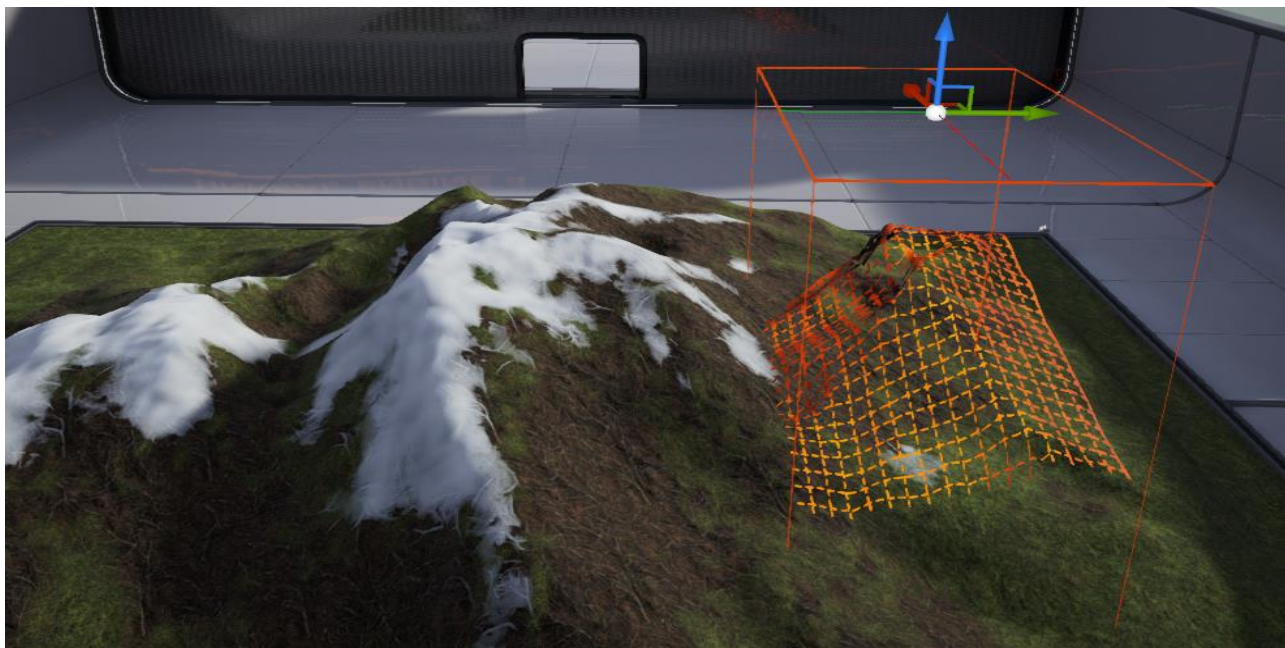


Рисунок 16 – Перенос горы при помощи инструмента «Gizmo Data»

Таким образом, Unreal Engine 5 становится оптимальным выбором благодаря системе глобального освещения Lumen, высокопроизводительной геометрии Nanite, масштабным библиотекам ассетов и материалов Quixel, а также широким возможностям постобработки и интерактивного управления сценой. Все эти функции обеспечивают не только реалистичную передачу исторических объектов, но и глубокое погружение зрителя в атмосферу осады Албазинского острога, поддерживая как статичные рендеры и видеоролики, так и интерактивные способы взаимодействия с виртуальным пространством.

Итоговая эффективность рабочего процесса основывается на том, что Blender, AutoCAD и Unreal Engine 5 отлично сочетаются между собой, позволяя переходить от чертёжной точности к художественной проработке, а затем и к полноценному рендерингу в реальном времени. При этом именно Blender играет ключевую роль в придании реконструкции законченного и выразительного облика, обеспечивая продвинутую систему моделирования, богатые возможности текстурирования и удобные инструменты проверки результата ещё до интеграции

сцены в игровой движок. Такой подход даёт возможность исторической реконструкции обрести не только наглядность, но и высокую степень достоверности, что особенно важно при визуализации столь значимого памятника прошлого, каким является Албазинский острог.

3 РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ

3.1 Виртуальная реконструкция ландшафта Албазинского острога

Виртуальная реконструкция ландшафта Албазинского острога начинается с анализа и подготовки топографических планов, полученных из архивных или геодезических источников, которые в дальнейшем становятся основой для детальной 3D-модели местности. Одним из ключевых факторов выбора среды AutoCAD на данном этапе является формат исходных данных: топографические планы зачастую доступны в PDF, который невозможно напрямую импортировать в Blender без потери качества и без корректной передачи геометрической структуры. Поэтому материалы сначала загружаются в AutoCAD, где происходит удаление избыточных элементов чертежа, таких как разнообразные условные обозначения, вспомогательные линии, надписи и примечания, способные вызвать неточности при трёхмерном моделировании. Пример загруженного плана в AutoCAD представлен на рисунке 17.

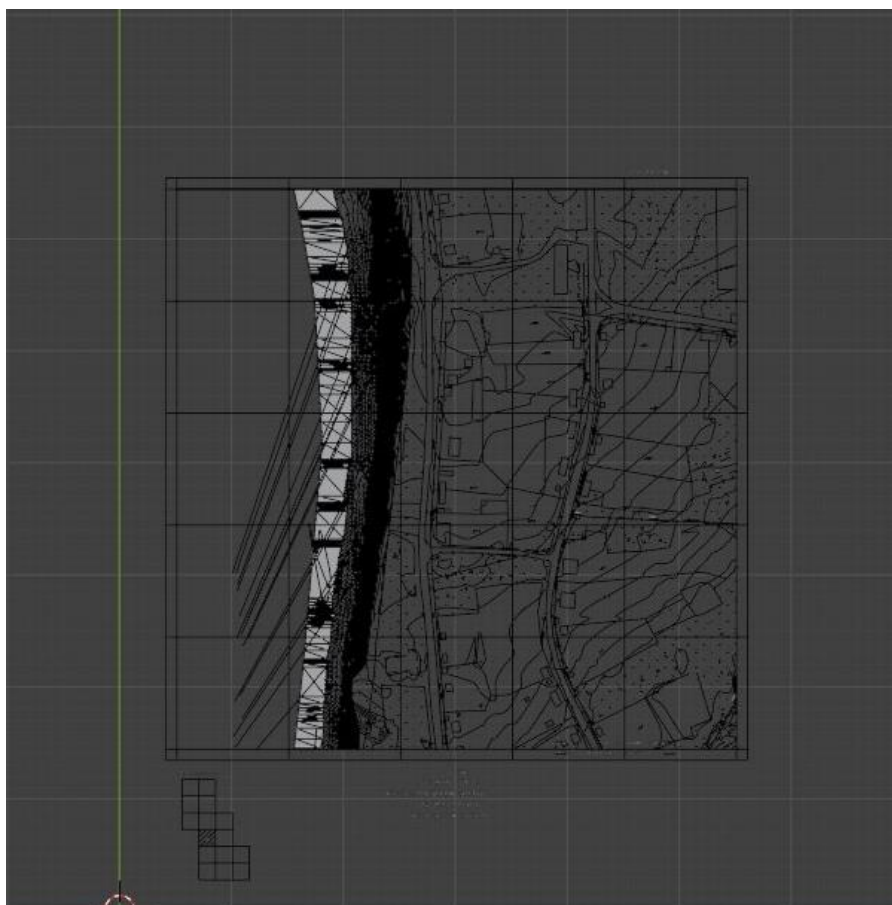


Рисунок 17 – Загрузка топоплана в AutoCAD.

После этой очистки сохраняются исключительно изолинии высот, выступающие ключевым элементом при воссоздании рельефа, и при экспорте выбирается формат DXF, поскольку именно он позволяет корректно перенести полученные полилинии в другую программу. Кроме того, Blender поддерживает загрузку такого формата через специальный аддон, что гарантирует сохранение необходимых геометрических параметров и обеспечивает плавный переход к этапу 3D-моделирования.

Далее в Blender устанавливается и активируется аддон Import AutoCAD DXF Format, дающий возможность импортировать полученные изолинии напрямую в 3D-сцену, где они могут быть преобразованы в сетку (mesh) для дальнейшей работы над рельефом. При создании высокополигональной модели особое внимание уделяется максимальной детализации, поэтому каждый полигон формируется почти вручную, а сложность сетки целенаправленно повышается в тех областях, где заметны существенные перепады высот или другие характерные особенности местности. На рисунке 18 представлен пример построения первого топоплана.

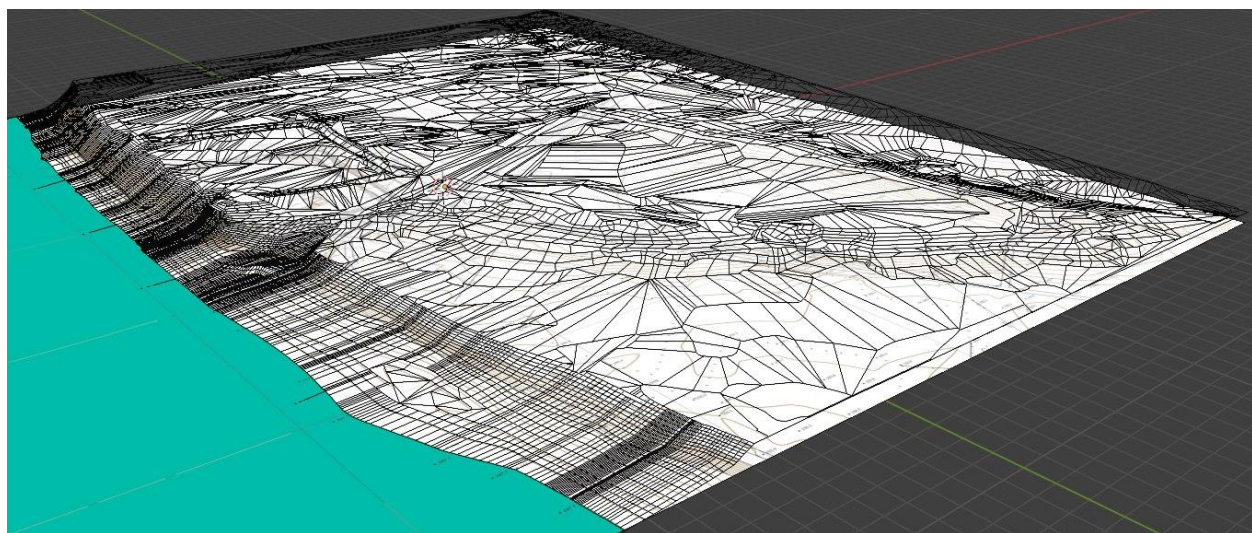


Рисунок 18 – Первый построенный топоплан местности.

Тщательный подход к работе с такими участками обеспечивает более реалистичный итоговый результат. Процесс делится на небольшие зоны, каждая из которых готовится отдельно, а затем подключается к остальным, образуя единую непрерывную структуру. На практике это означает, что сначала в Blender воссоздаётся рельеф одного фрагмента, затем в сцену добавляются последующие

участки топографических планов, и процедура повторяется, пока вся территория Албазинского острога не будет покрыта целостной 3D-сеткой. В местах, где изолинии пересекаются или не стыкуются, применяется дополнительная ручная корректировка, позволяющая добиться плавных переходов или, напротив, акцентировать нужные детали ландшафта в соответствии с имеющимися данными.

После формирования общей структуры ландшафта каждому уровню высот присваивается своя отметка, соответствующая реальному положению над уровнем моря. При этом может потребоваться сверка с дополнительными геодезическими и архивными материалами, а также с информацией о гидрографии или других природных факторах, характерных для исторического периода существования острога. Если исходные топографические планы содержат неточности или пробелы, их корректируют, руководствуясь комплексными данными о рельефе, чтобы итоговая модель максимально точно отражала реально существовавшую геометрию местности. На рисунке 19 представлен законченный результат построения ландшафта.

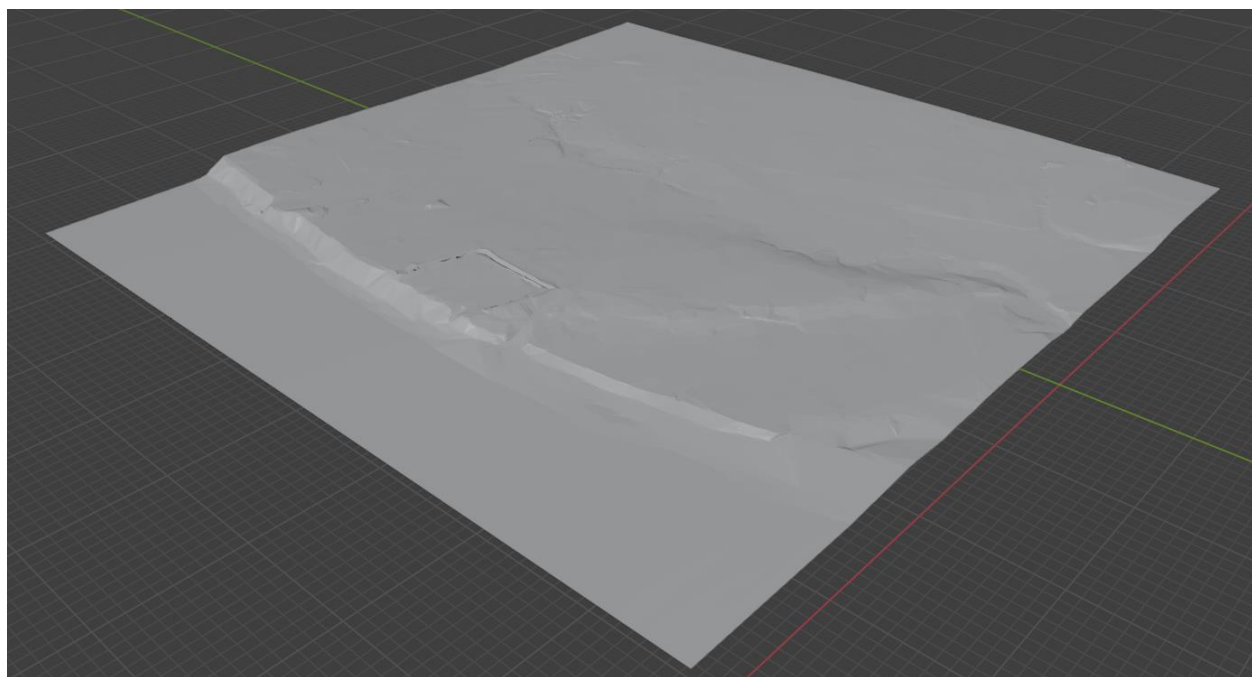


Рисунок 19 – Построенный ландшафт.

После завершения базового этапа построения ландшафта в сцену импортируется план расположения самого острога, включающий раскопы, башни, стены и прочие элементы исторической инфраструктуры. Эти объекты сопоставляются

с уже готовой моделью рельефа, чтобы проверить точность позиционирования и корректность общей структуры. Особая важность на данном этапе придаётся проверке масштаба и расположения ключевых ориентиров (например, береговой линии реки, высотных точек, углов оборонительных сооружений), поскольку любые погрешности могут сказаться на исторической достоверности реконструкции. Проведённая корреляция показала достаточную степень соответствия, и дальнейшая работа продолжилась в прежней конфигурации. На рисунке 20 представлено наложение острога на топографический план.

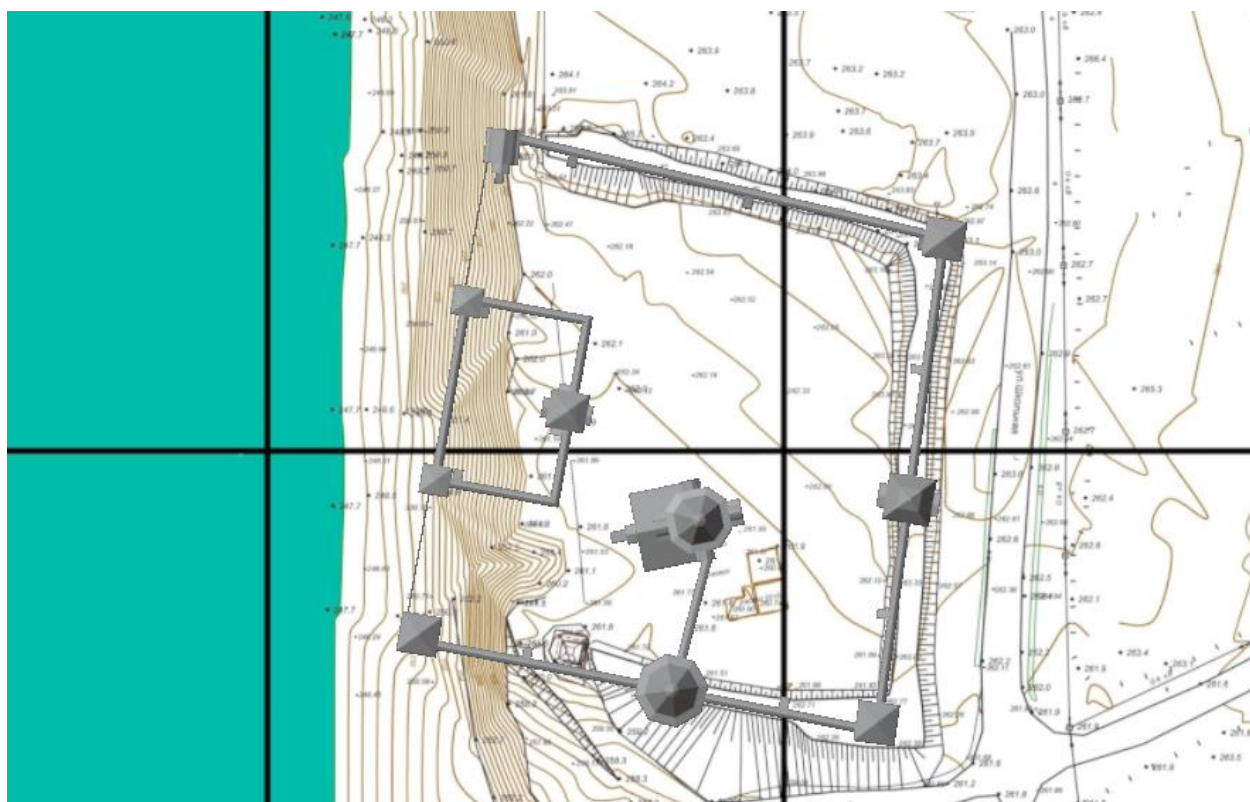


Рисунок 20 – Расположение острога на топографическом плане.

Для получения наглядной визуализации перепадов высот и расположения различных объектов была создана специальная текстура, обеспечивающая дополнительное выделение ключевых элементов ландшафта. В основу легла принципиальная схема распределения рельефа, где наиболее высокие точки обозначались более насыщенными оттенками, а понижения, напротив, отличались светлыми тонами. Благодаря такому подходу дорожная сеть, основания построек и возможные линии укреплений легко считывались при рассмотрении модели, позволяли быстро определять взаимное расположение элементов и вносить при

необходимости корректировки. Дополнительно учитывались контрасты между зонами застройки и природными участками, чтобы упростить анализ исторической застройки и маршрутов перемещения, сохраняя при этом полную сопоставимость с данными о рельефе. Для наложения текстур сначала была создана UV-развертка, которая позволяет развернуть трёхмерную модель в виде плоскости. Данный шаг необходим как для наложения текстур, так и для поиска проблем с топологией модели, так как неверные полигоны и соединения между ними начинают сильно искажать развертку, также прежде, чем приступить к созданию текстуры было необходимо проверить «Face orientation», данный параметр геометрии отвечает за положение и направление лицевой стороны полигона. Если полигон будет направлен в неверную сторону, то при наложении текстур он будет отсутствовать на развертке и не будет отображаться далее. На рисунке 21 пример неверного направления.

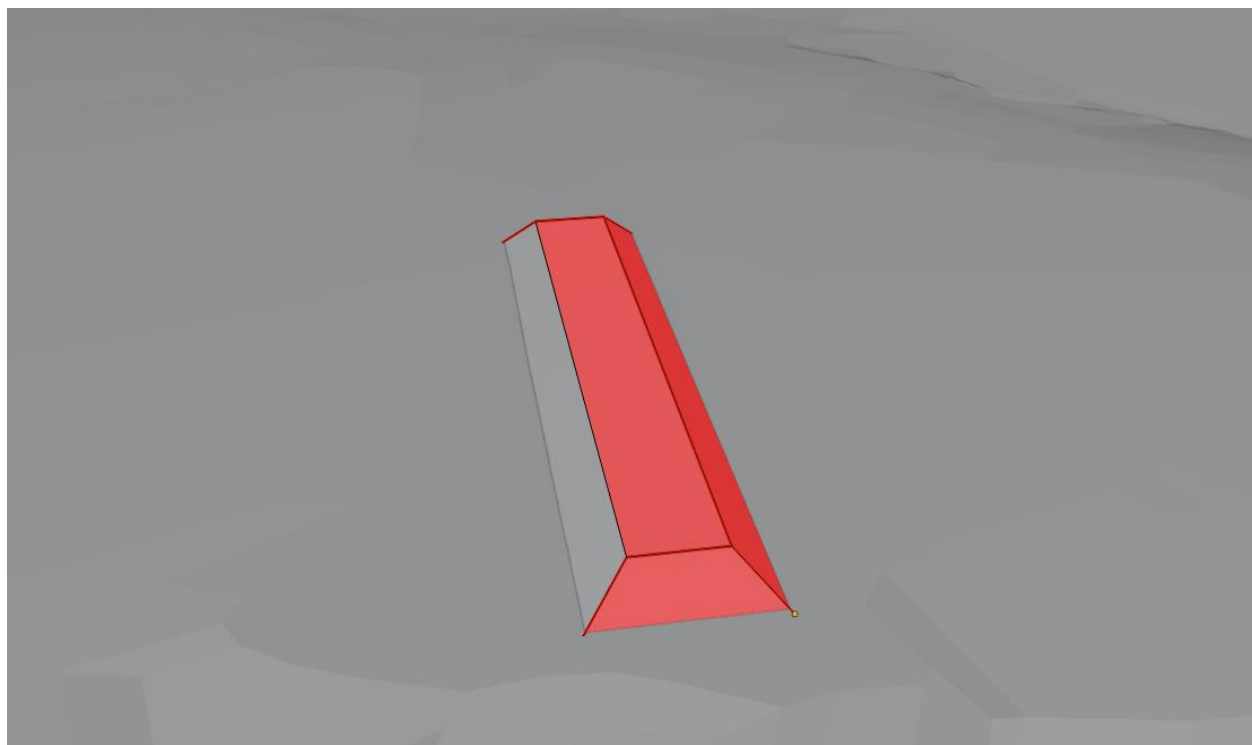


Рисунок 21 – Неверно направленные полигоны.

Как можно заметить полигоны, имеющие неверное направление, горят красным цветом, что позволяет их легко отследить и перевернуть, для этого необходимо нажать сочетание клавиш «Shift + N» и поставить галочку в пункте меню «Inside». После чего ориентация будет изменена.

После этого можно приступить к созданию текстуры. 3D-ландшафт с текстурой представлен на рисунке 22.

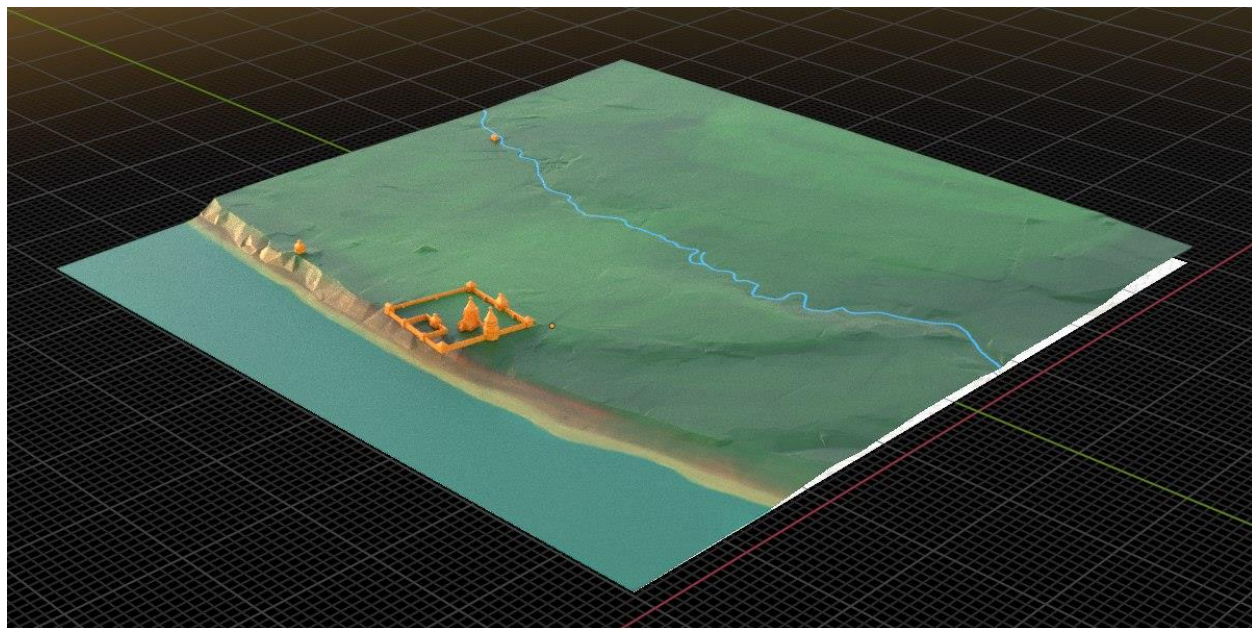


Рисунок 22 – Трёхмерная модель ландшафта с наложенной текстурой.

При анализе сохранившегося китайского рисунка тщательно сопоставляются его графические элементы с результатами цифровой реконструкции рельефа, чтобы выявить ключевые природные и антропогенные ориентиры. Особое внимание уделяется сравнению относительного положения рек, возвышенностей и просматриваемых в рисунке оборонительных сооружений, поскольку все эти детали влияют на общую структуру местности и логику развития возможных военных действий. В ходе работы выявляются характерные изгибы береговой линии, форма и высота холмов, потенциальные подступы к укреплениям, которые далее соотносятся с данными о вертикальных отметках и наклонах почвы, полученными в результате построения изолиний и 3D-модели рельефа. Параллельно изучаются подсказки о возможных маршрутах передвижения войск, расположении дорог и мест, где они могли пересекаться с линиями обороны или стратегически важными зонами. Последовательная проверка геометрических пропорций помогает определить, насколько точно рисунок отражает реальные расстояния и ориентацию объектов, а также какой угол обзора мог использоваться художником. Сопоставление этих факторов позволяет не только установить наиболее вероятное расположение китайских лагерей, домов и батарей, но и понять, какие

именно участки ландшафта представляли наибольшую ценность в военном плане и требовали усиленной защиты. Картина представлена на рисунке 23.



Рисунок 23 – Китайская картина осады Албазинского острога.

Дополнительно учитывались упоминания в исторических документах о логистике размещения подразделений, а также общая структура укреплений на территории острога, чтобы уточнить границы зон обороны и определить принципы возведения вспомогательных построек. В результате была выделена система точек, где совокупность рельефных признаков и упоминаний китайской стороны наиболее чётко подтверждает присутствие лагерей, жилых построек и артиллерийских позиций, обеспечивая наибольшую согласованность с топографическими данными и деталями, зафиксированными в исторических источниках. На рисунке 24 представлен итоговый ландшафт, полученный с использованием ранее рассмотренного алгоритма и установленными постройками.

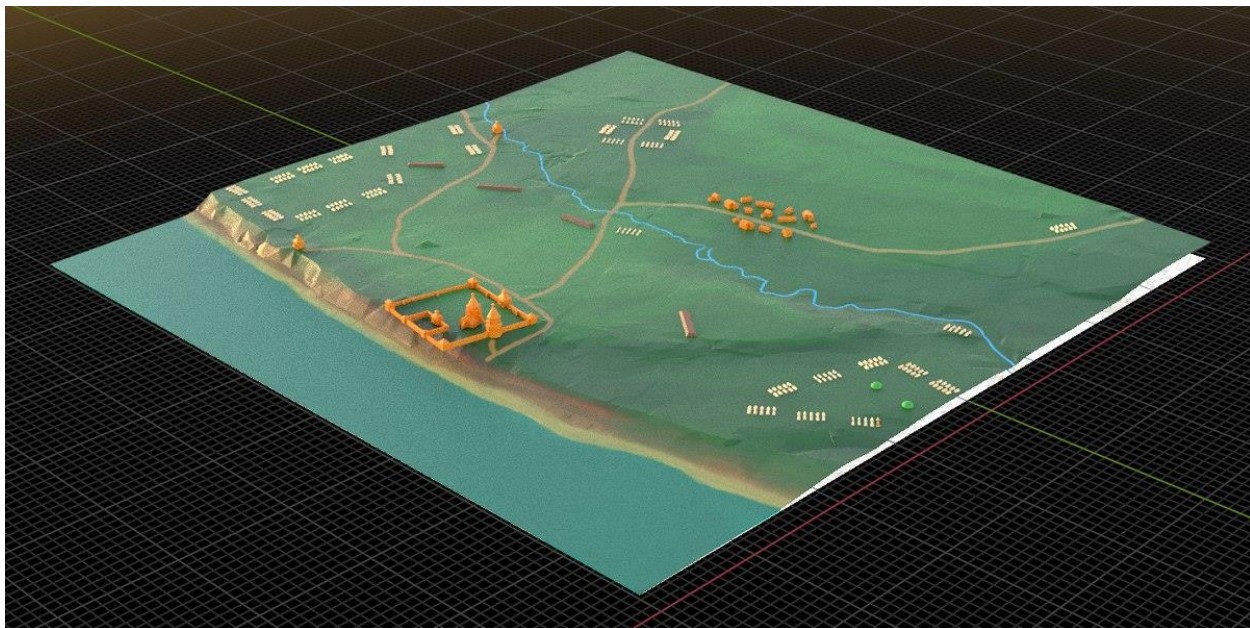


Рисунок 24 – Итоговый результат реконструкции ландшафта.

Главной целью здесь остаётся создание максимально достоверной цифровой модели местности Албазинского острога, которая впоследствии будет использоваться для историко-культурных, научных и презентационных задач. Одновременно с этим учитываются технологические ограничения: высокополигональная сетка может заметно увеличивать системные требования и усложнять процесс моделирования. Однако стремление к точности рельефа оправдывает повышенную проработку каждого участка, позволяя в итоге представить максимально детальный облик исторической территории. Интеграция данных из AutoCAD в Blender способствует более эффективному сочетанию чертёжных и 3D-инструментов, подготавливая цифровую модель к следующим этапам, где она будет дорабатываться с учётом визуализации, освещения и анимации, если это требуется концепцией проекта.

3.2 Интеграция 3D-ландшафта в игровой движок Unreal Engine с применением материалов и эффектов освещения

Интеграция 3D-ландшафта в игровой движок Unreal Engine с применением материалов и эффектов освещения становится существенно проще, если использовать инструменты, позволяющие обращаться с рельефом в формате специального объекта типа Landscape. При стандартном импорте в формате FBX детально проработанная высокополигональная сетка воспринималась бы игрой как

статическая меш-сцена, что затрудняет модификацию рельефа в реальном времени и накладывает ограничения на использование инструментов ландшафтной системы внутри самого движка. Чтобы решить эту задачу, был выбран метод генерации карты высот (height map), создаваемой в Blender и впоследствии импортируемой в Unreal Engine 5 в качестве Landscape.

Этот подход даёт возможность работать с ландшафтом во внутренней среде движка, где применяются встроенные инструменты для рисования, выравнивания, создания различных текстурных слоёв и добавления дополнительных объектов вроде травы, деревьев или дорожных покрытий.

Высотные карты широко используются в игровой и 3D-визуализации для оптимизации ресурсов и гибкости работы. Вместо переноса всех мелких деталей в виде геометрии, которая может составлять сотни тысяч или миллионы полигонов, создаётся двумерное изображение с градиентом – от более светлых к более тёмным тонам, соответствующим высотам определённых участков ландшафта. В Unreal Engine при загрузке такой карты каждое значение яркости определяет относительное смещение вершины нового ландшафта, что позволяет воспроизвести форму местности с высокой точностью, при этом сохраняя относительно невысокое количество полигонов. Использование Landscape также важно, когда требуется применение встроенных инструментов редактирования рельефа и систем LOD (Level of Detail), которые автоматически уменьшают детализацию на удалённых участках и поддерживают высокую производительность в режиме реального времени.

В процессе подготовки карты высот в Blender формируется материал, узловая структура которого интерпретирует высоту каждого участка модели и отображает её градацией оттенков серого. Для корректного результата камера ориентируется над моделью, обычно в ортографическом режиме или с очень большим фокусным расстоянием, чтобы свести к минимуму перспективные искажения. На рисунке 25 представлены настройки материала для создания карты высот.

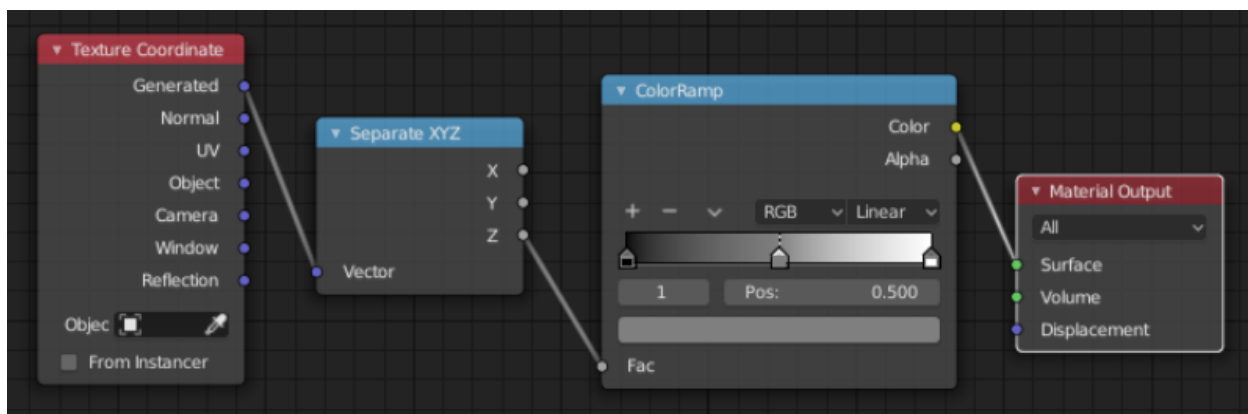


Рисунок 25 – Настройки материала.

Рельеф масштабируется так, чтобы уместиться полностью в кадре, и для сохранения максимальной точности этот масштаб следует подбирать с учётом габаритов исходного ландшафта. После рендеринга получается двоичное или постобработанное изображение, где высоты наиболее возвышенных точек передаются более светлыми оттенками, а низменные зоны – более тёмными. В результате при импорте изображения в Unreal Engine в качестве height map движок интерпретирует эту информацию, формируя низкополигональную плоскость (например, 53 на 53 полигона) с тем же рельефом, что и в исходной высокополигональной модели. На рисунке 26 показан результат импорта карты высот.

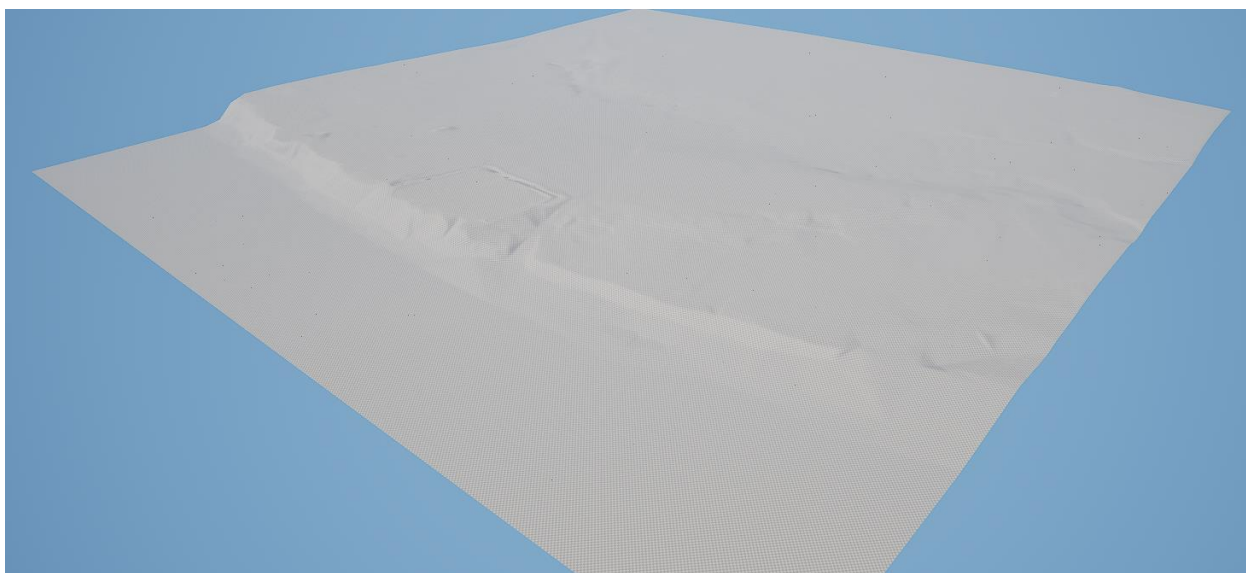


Рисунок 26 – Результат импорта карты высот ландшафта.

Такой способ не только снижает нагрузку на систему за счёт меньшего числа полигонов, но и даёт возможность в дальнейшем использовать встроенные средства Unreal Engine для управления рельефом, накладывания материалов и

добавления эффектов освещения. Применение текстурных слоёв, основанных на углах наклона поверхности или высоте, значительно упрощается, поскольку Landscape-объект располагает специальным инструментарием для создания многослойных шейдеров, позволяющих условно «красить» различные зоны (например, травой на равнинных участках и каменными текстурами на крутых склонах). Вдобавок рефлексивные и теневые эффекты в движке автоматически оптимизируются под особенности Landscape, что является существенным преимуществом по сравнению с простой статичной меш-сценой, где подобные инструменты требовали бы отдельных дополнительных настроек.

После завершения подготовки ландшафта в виде карты высот, дающего возможность работать с ним как с объектом типа Landscape, было принято решение всё же импортировать и саму трёхмерную модель местности в формате FBX, вместе с дополнительными элементами, чтобы сохранить их точное расположение. Данный шаг обусловлен необходимостью переноса множества малых объектов, разбросанных по рельефу, которые требовали строгой привязки к определённым координатам.

Для этого в среде Blender предварительно выстраивались взаимосвязи между ландшафтом и отдельными 3D-моделями: например, башнями, фрагментами оборонительных сооружений или любыми другими деталями окружения, расположенными на поверхности рельефа. Каждая модель имела заданные координаты и ориентацию в пространстве, что позволяло при экспорте сохранять связь между ними.

Во время импорта в Unreal Engine 5 FBX-файл обрабатывался таким образом, что все объекты из сцены Blender оказывались в тех же позициях относительно ландшафта, где они были размещены ранее. Это стало возможно благодаря сохранённой в FBX структуре и единой системе координат, в рамках которой каждая модель имела собственный трансформ (параметры положения, поворота и масштабирования). При импорте движок корректно считывал эти трансформы, помещая объекты туда, где им было отведено место в исходном проекте. Подобный подход позволял избежать разрозненного расположения деталей или

долгих ручных корректировок координат, поскольку в Blender вся сцена уже была выверена по осям и масштабам. На рисунке 27 находится первичный результат переноса.

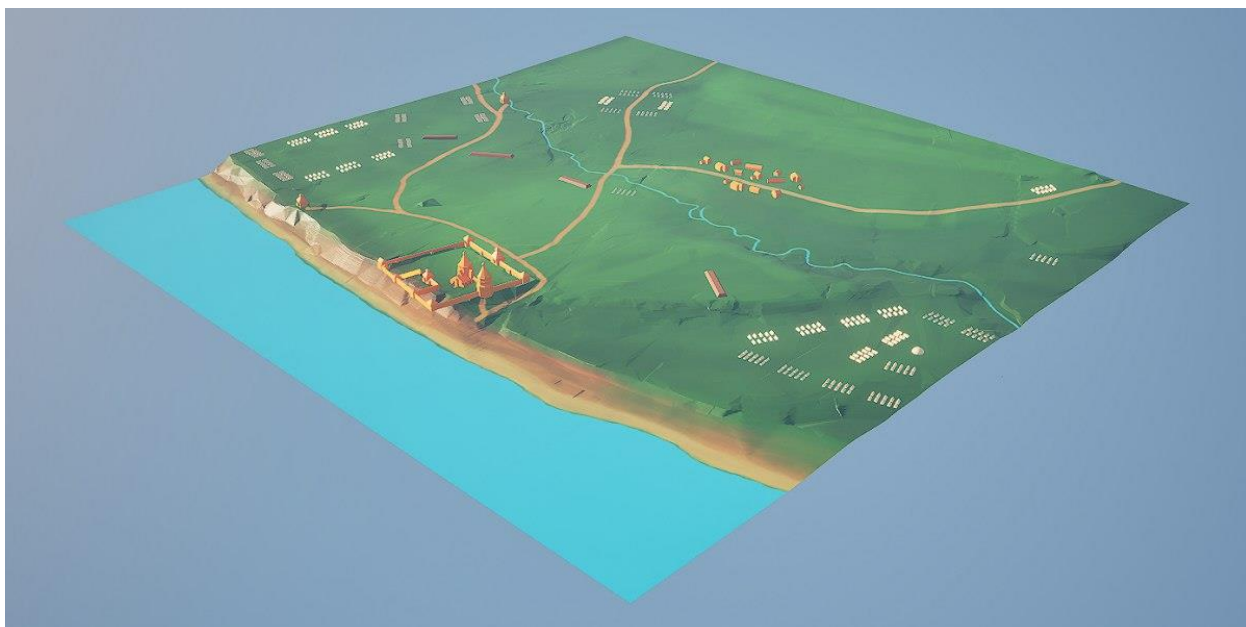


Рисунок 27 – Первичный результат импорта 3D-ландшафта.

Дополнительно учитывалось, что высокополигональная модель ландшафта, перенесённая в виде статического меша, не заменяла собой объект Landscape, а лишь служила отправной точкой для проверки правильности позиционирования, и в итоге была удалена. Таким образом, одновременно использовались оба варианта: более универсальный и лёгкий Landscape, созданный на основе карты высот, и оригинальная геометрия, помогающая сохранить ключевые детали. Когда объекты из Blender накладывались на Landscape в Unreal Engine, удавалось гарантировать, что здания, стены или иные конструкции оказывались на своих местах, а необходимость подгонки рельефа к их основанию сводилась к минимуму. В результате процесс объединения двух подходов – карты высот и прямого импорта FBX – давал более полную картину, сочетая оптимизированный ландшафт с точно размещёнными моделями, что впоследствии облегчало настройку визуальных эффектов и дополнительных элементов окружения в игровом движке.

После импорта созданного ландшафта в игровой движок стало очевидно, что простая текстура, использованная ранее для наглядности в Blender,

значительно уступает по качеству требованиям к фотореалистичной визуализации. В связи с этим было принято решение заняться дальнейшим улучшением визуального оформления, разработав многослойную текстуру, способную детально передать разнообразные покрытия и материалы рельефа. Для реализации этой задачи использовался сервис Quixel Bridge – универсальная платформа, предоставляющая обширную библиотеку высококачественных 3D-сканов и материалов, именуемых Megascans. В данном репозитории можно найти всё от различных видов почвы и каменных пород до поверхностей, имитирующих растительность, древесину, металл и многие другие фактуры, что даёт возможность подбирать наиболее подходящие варианты для конкретного ландшафта.

Благодаря обширному ассортименту Megascans в Quixel Bridge были отобраны материалы, максимально соответствующие историческому и природному контексту Албазинского острога. На рисунке 28 показаны материалы, которые были выбраны для будущего текстурирования.



Рисунок 28 – Материалы для текстурирования.

При создании многослойных текстур для ландшафта в Unreal Engine стремятся добиться органичного сочетания нескольких разных материалов, каждый из которых может отражать определённую высоту или угол наклона поверхности. Для этого обычно формируется единый шейдер, обладающий параметрами, позволяющими накладывать различные текстурные слои друг на друга с

помощью масок или процедурных алгоритмов. Внутри такого шейдера используется, например, узел Landscape Layer Blend, обеспечивающий гибкое смешение отдельных материалов – грунта, каменных пород, травяного покрова и других фактур. Задаются условия, при которых один слой постепенно сменяется другим, например, на крутых склонах преобладает камень, а в низинах или на относительно ровных площадках проявляется почва с травяным покровом. Параллельно могут настраиваться карты нормалей, roughness и ambient occlusion, усиливающие реалистичность покрытия. При этом сохраняется удобство дальнейшей корректировки: если меняется конфигурация ландшафта или условия освещения, значения масок и интенсивность слоёв корректируются без необходимости вручную замещать какую-то конкретную область. Такой подход позволяет добиться высокой степени достоверности внешнего вида ландшафта. Рисунок 29 отображает схему подключения различных карт каждого материала для создания единого материала.

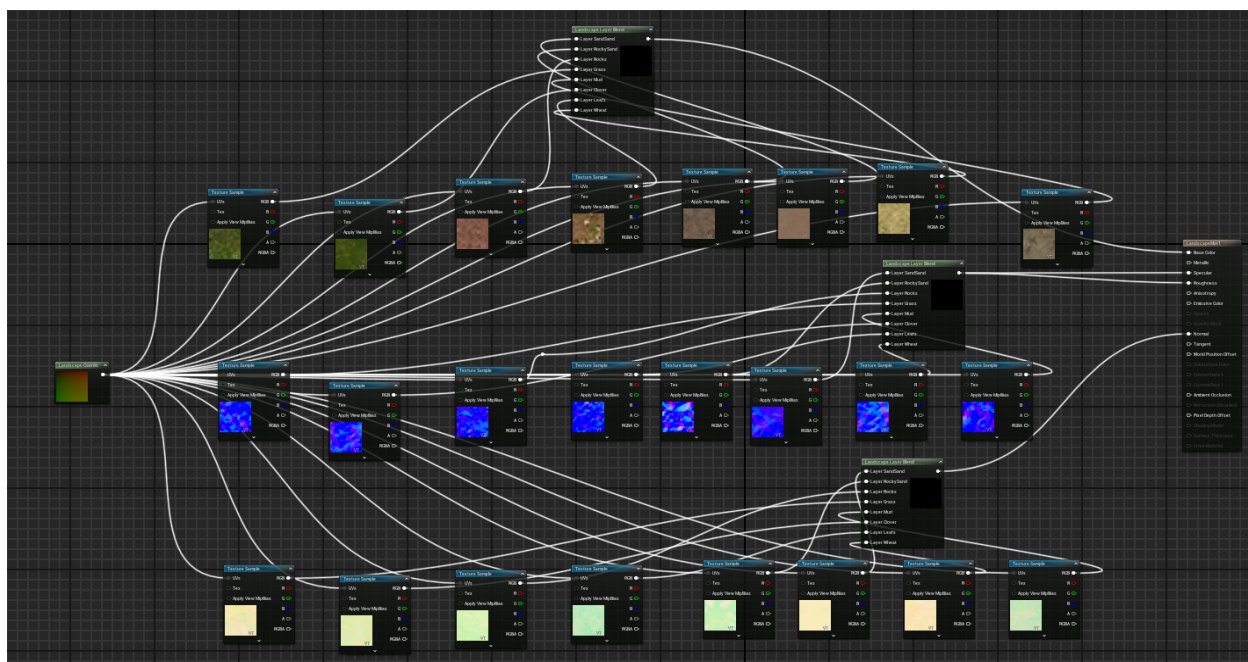


Рисунок 29 – Многослойный материал.

Использование Megascans-материалов из Quixel Bridge дополняет этот процесс большим набором качественных фотореалистичных текстур, которые могут быть накладываемы в нескольких слоях, создавая многогранную основу для дальнейшей детальной проработки сцены.

При создании многослойного ландшафтного материала были отобраны восемь различных фактур, отражающих характерные покрытия местности: камни, песок, траву, землю, грунт и ряд дополнительных вариаций. Каждая из фактур представлена тремя основными картами: Base Color (также называемой Albedo), Normal и Roughness. Первая обеспечивает реалистичную цветовую гамму поверхности, вторая формирует информацию о микрорельефе, а третья отвечает за степень шероховатости или блеска. Во многих случаях к ним добавляются карты Ambient Occlusion (AO) и Metallic, но при базовом подходе к ландшафтной визуализации достаточно трёх упомянутых типов.

После импорта текстур каждая из карт для выбранного материала подсоединяется к узлу Landscape Layer Blend, где настраивается интенсивность и области покрытия. Таким образом, Base Color, Normal и Roughness для каждого из восьми материалов объединяются в одном сложном шейдере, который плавно распределяет разные фактуры по поверхности в соответствии с высотой, углом наклона и другими параметрами рельефа. В итоге создаётся многослойный материал, позволяющий ландшафту выглядеть максимально детализированным и правдоподобным.

После этого создаётся экземпляр данного материала и присваивается к ландшафту, в итоге получается многослойная текстура, также позволяющая наносить любой из слоев на ландшафт если это необходимо вручную. Добавление растительности стало важным этапом при создании реалистичной трёхмерной модели ландшафта, поскольку именно флора зачастую определяет общее восприятие территории. В данном случае на рассматриваемом участке присутствуют лесные массивы и кустарниковая растительность, что требовало выбора соответствующих 3D-моделей деревьев, кустов и трав. Для их корректного размещения в среде Unreal Engine необходим объект типа Landscape, поскольку Foliage Actor (инструмент, позволяющий «сажать» объекты растительности) опирается именно на данные о рельефе и координатах Landscape при распределении элементов.

После интеграции ландшафта в движок создавался Foliage Actor, в котором указывались загруженные через Quixel Bridge ассеты для деревьев и кустарников. Эта библиотека предлагает широкий набор высококачественных сканированных моделей (Megascans) с детальной проработкой текстур, что даёт возможность приблизить итоговый пейзаж к реальным условиям. Каждый тип растительности добавлялся в настройках Foliage Actor как отдельный элемент с уникальными параметрами: вариациями масштаба и ориентации, плотностью насаждений и вероятностью появления на определённых типах поверхности.

Затем включался режим «Растительность» (Foliage Mode), позволяющий с помощью специальной «кисти» или «распылителя» буквально «сажать» выбранные растения в тех местах, где необходимо воспроизвести лесные или кустарниковые зоны. На рисунке 30 пример использования.

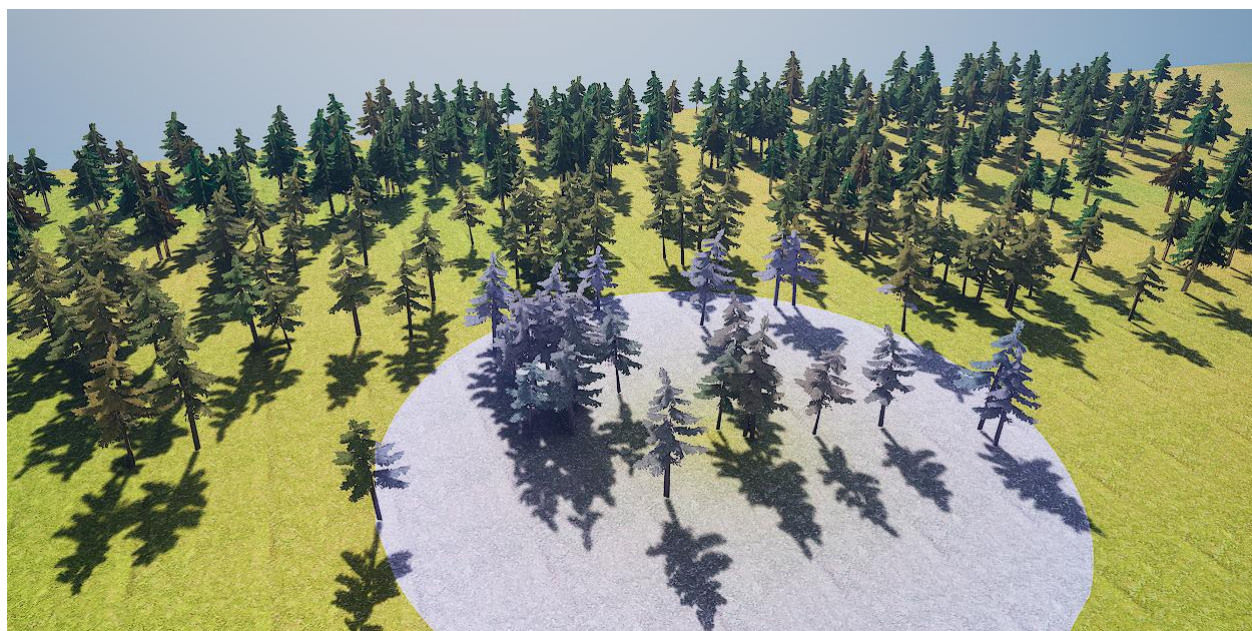


Рисунок 30 – Пример использования кисти для растительности.

При этом учитывались рельефные особенности: движок самостоятельно определял контактный угол с поверхностью, ставил растения вертикально и корректировал небольшие перепады, чтобы деревья или кустарники не «парили» в воздухе. Такой подход сохранял естественный вид даже на склонах. Дополнительно настраивался процент вероятности появления тех или иных растений в выбранной области, что придавало ландшафту более случайный и реалистичный характер.

В результате на подготовленной местности можно было сформировать правдоподобный лес с переходами в кустарниковые зоны там, где это требуется историческим или географическим условиям. При необходимости часть насаждений редактировалась или полностью удалялась, если нужно было освободить место под другие объекты. Так реализовывалась не только визуальная компонентная составляющая, но и общая атмосфера ландшафта, которую невозможно воспроизвести без правильной расстановки типичных для данной территории деревьев, кустов и трав. Результат наложения текстуры и создания леса представлен на рисунке 31.

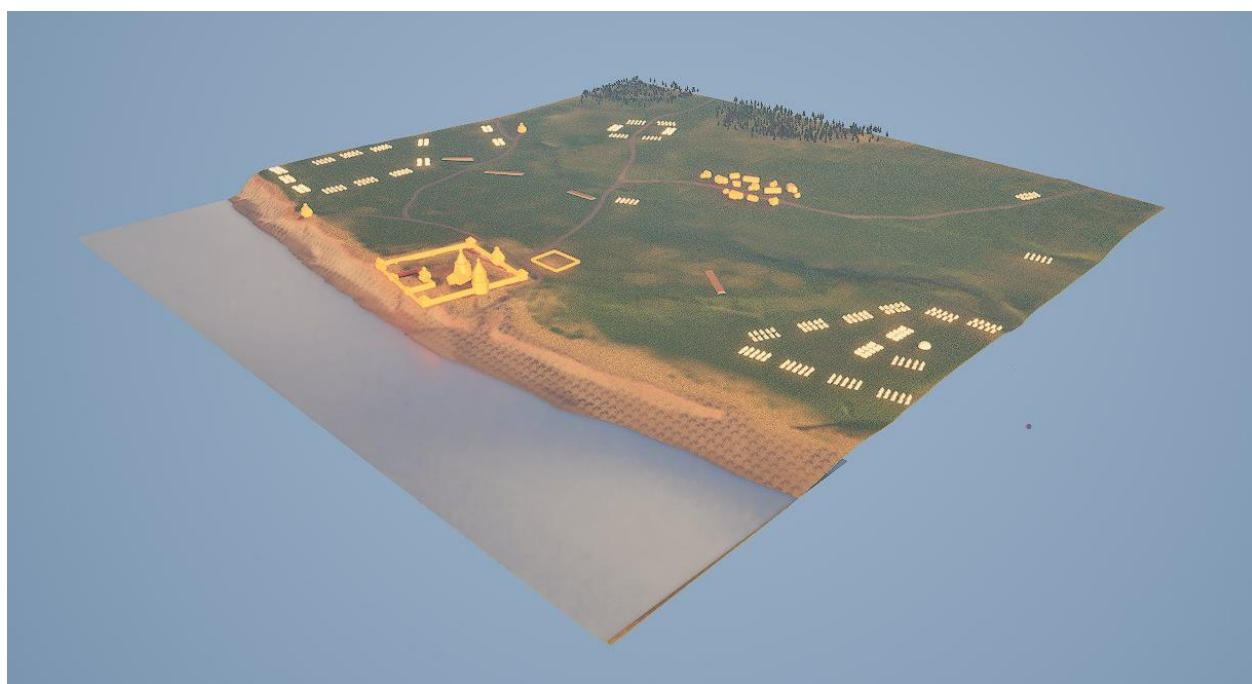


Рисунок 31 – Ландшафт с наложенной многослойной текстурой и лесом.

Для воссоздания реки или другого водоёма на ландшафте в сцену добавляется плоскость, которая совпадает с контуром береговой линии и уровнем воды. Сначала уточняется реальное расположение водоёма, чтобы плоскость точно повторяла форму и размеры предполагаемого русла или берегов. При необходимости плоскость деформируется под небольшими углами, если нужно показать мелководье или переходы глубины. После этого к созданной плоскости применяется материал «река», где настраиваются параметры отражения, прозрачности и ряби, чтобы поверхность выглядела живой и реалистичной.

Внутри Unreal Engine материал «река» формируется на основе шейдера, способного воспроизводить такие эффекты, как отражение окружающих объектов, преломление света и визуализация движущихся волн. Для создания иллюзии течения используются карты нормалей, которые смещаются или анимируются при помощи специальных узлов, задающих скорость и направление воды. Цвета и степень прозрачности материала подбираются так, чтобы вода гармонировала с освещением сцены и позволяла различать мелководье у берегов. Дополнительно учитывается отражение неба и солнца: при правильном выставлении углов и интенсивности света на поверхности воды появляются натуральные блики.

Затем проверяется соответствие масштаба водоёма общей концепции ландшафта. Если участок реки проходит через разные высоты или изгибы рельефа, плоскость корректируется, чтобы вода не «зависала» в воздухе и не врезалась в береговую линию. Параллельно настраиваются физические характеристики материала, включая параметры roughness для регулирования блеска, а также значение refraction, отвечающее за прозрачность и искажение объектов на мелководье. Такой подход даёт возможность достичь баланса между визуальной привлекательностью сцены и производительностью проекта, поскольку настраиваемая плоскость с грамотно прописанным материалом «река» требует относительно небольшого числа полигонов, но при этом создаёт убедительный эффект настоящего водоёма.

Таким образом, в процессе создания водоёма формируется плоскость, точно повторяющая контуры береговой линии и уровня воды, а затем к ней прикрепляется выбранный материал «река». Такой подход даёт возможность добиться оптимального сочетания реалистичного внешнего вида и сохранения производительности, поскольку настраиваемая плоскость с корректно заданными параметрами отражения, прозрачности и анимации волн обеспечивает достоверную имитацию речной поверхности в сцене.

Следующим этапом становится наращивание берега, поскольку нынешний ландшафт отражает современное состояние местности, а в исторический период эрозия со стороны реки была намного менее выраженной. В результате этого

различия часть крепостных сооружений, включая башню и забор, оказывается «парящей» в воздухе, хотя по историческим данным они должны располагаться у самой кромки берега. Чтобы исправить несоответствие, используется инструмент Gizmo, входящий в арсенал средств редактирования ландшафта.

Принцип работы Gizmo заключается в том, что он позволяет выделять участки рельефа, копировать его характеристики (в том числе значения высот) и вставлять их в другом месте, тем самым «перенося» нужные конфигурации поверхности. Сначала определяется подходящая зона берега, которая должна быть расширена, а затем выделяется фрагмент с аналогичными параметрами грунта и высоты из соседней области или из заранее подготовленного рельефа. Gizmo фиксирует эти данные в буфер, после чего при вставке даёт возможность скорректировать позицию и масштаб, подстраивая копируемую геометрию под конкретные нужды. Кроме копирования и переноса участка рельефа, Gizmo предоставляет дополнительные инструменты для тонкой подгонки выделенной области: он позволяет изменять масштаб, поворачивать копируемый сегмент на нужный угол, а также зеркально отражать его в горизонтальной или вертикальной плоскости. Такая функциональность упрощает создание естественных переходов на ландшафте, поскольку при необходимости можно аккуратно «подровнять» участок, настроить его форму под изгиб берега или другие особенности рельефа. Возможность корректировать центр копирования даёт больше контроля над тем, какой именно фрагмент ландшафта будет использован в качестве шаблона, а при вставке доступна опция плавного смещения границ, чтобы стык между вставленной областью и остальной территорией получался менее заметным. На рисунке 32 показан пример работы Gizmo.

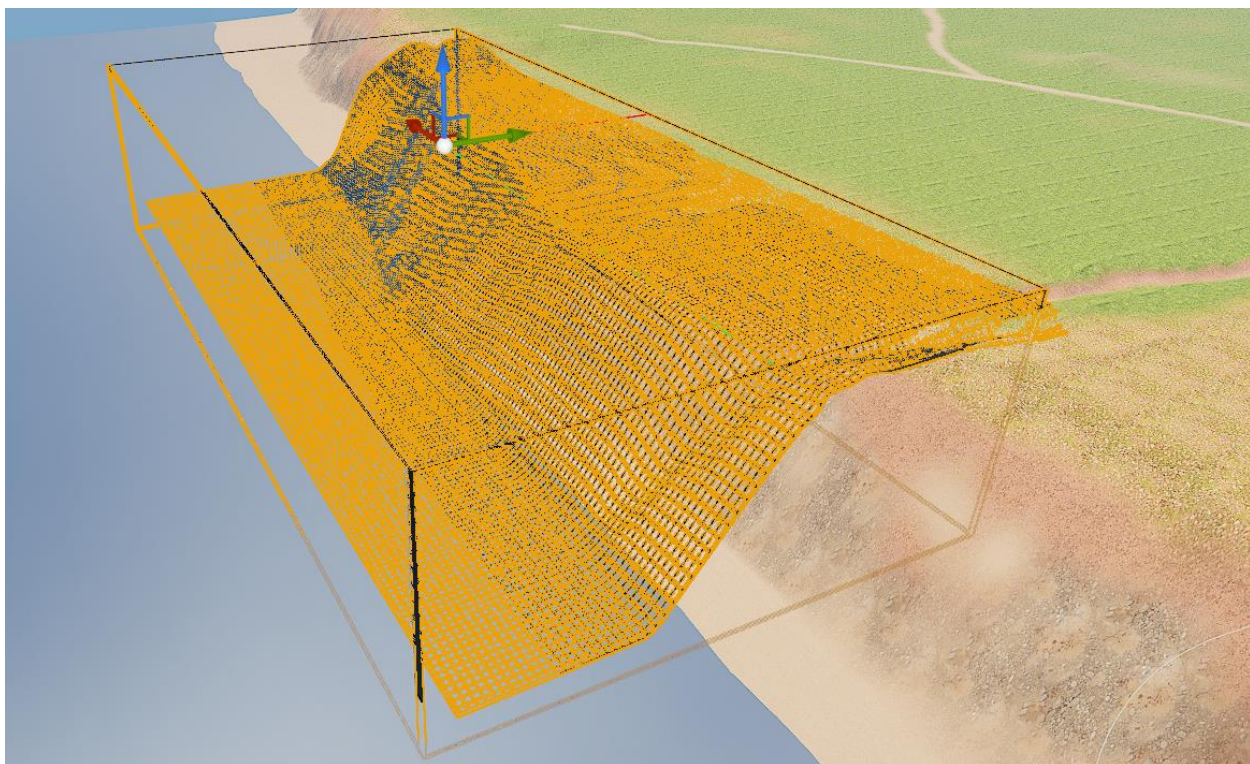


Рисунок 32 – Пример работы инструмента «Gizmo».

Для воссоздания условной береговой линии, соответствующей историческому периоду, вся имеющаяся кромка выделяется и «передвигается» вперёд ровно настолько, чтобы башня оказалась у края берега, а забор надёжно стоял на земле. На рисунке 33 представлен результат сдвига берега.

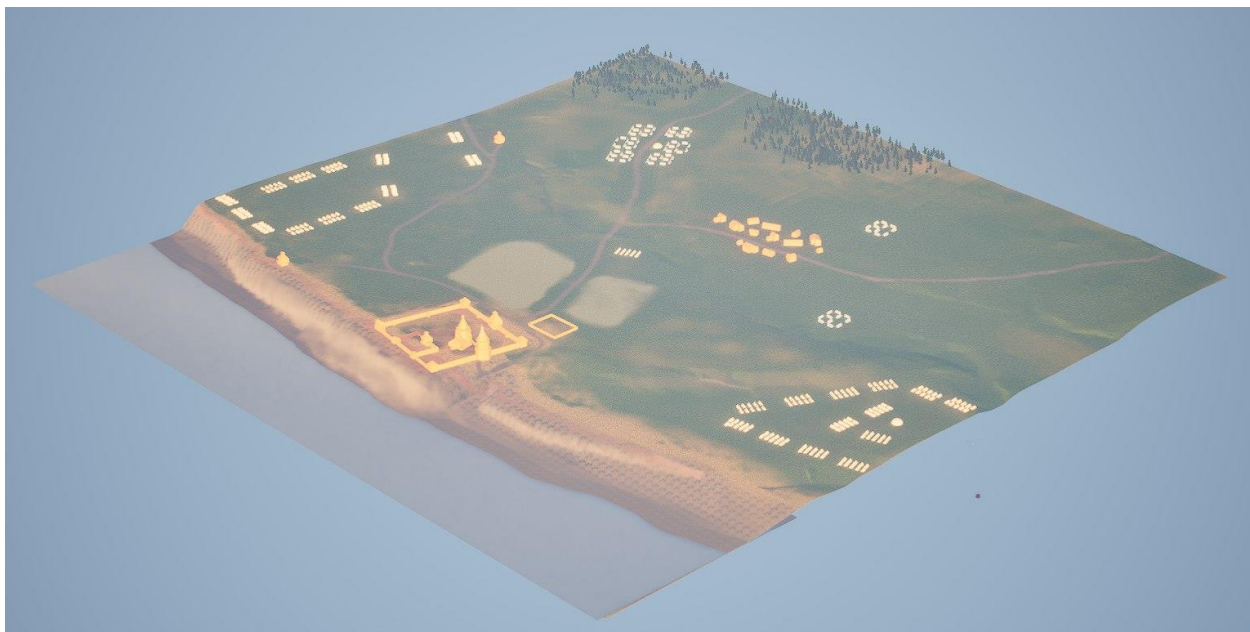


Рисунок 33 – Результат переноса берега.

На рисунке 34 представлено сравнение берега до реконструкции и после.

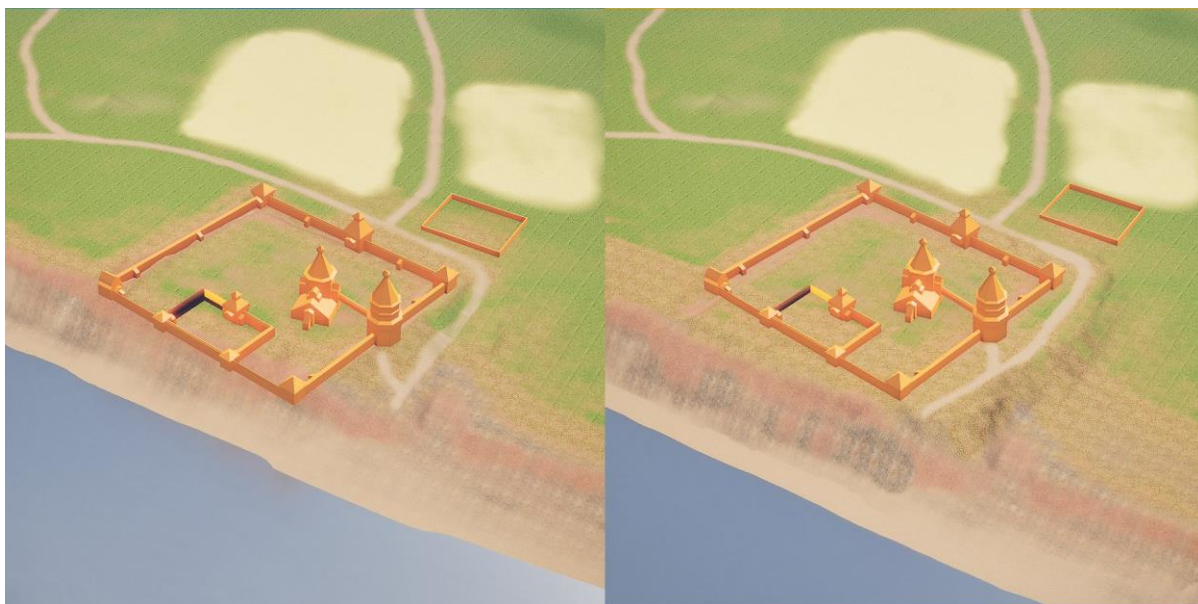


Рисунок 34 – Сравнение берега до реконструкции и после.

На приведённом изображении наглядно показывается сравнение береговой линии до применения инструмента Gizmo и после завершения реконструкции. Теперь крепостная башня и забор располагаются непосредственно у края берега, а овраг, идущий сбоку от острога, получает форму, более точно соответствующую тому, что видно на старинном китайском рисунке. В результате корректировки рельеф выглядит логичнее и естественнее, а сама береговая зона восстанавливается таким образом, чтобы отражать исторические данные о состоянии местности в период существования острога.

Одним из следующих этапов становится размещение причала и ведущей к нему лестницы, поскольку этот элемент, отмеченный на китайском рисунке, представляет собой важную часть крепостного комплекса. Для корректного воспроизведения данной детали уточняется точное расположение причала относительно берега, а также уровень, на котором должна начинаться лестница. Затем береговая линия слегка выравнивается, чтобы придать ей более плавный наклон, позволяющий объединить пологий спуск от воды к стенам острога, рисунок 35. При этом учитываются исторические сведения о глубине реки и особенностях рельефа, чтобы лестница и причал выглядели естественно интегрированными в структуру укрепления и соответствовали логике передвижения по территории.

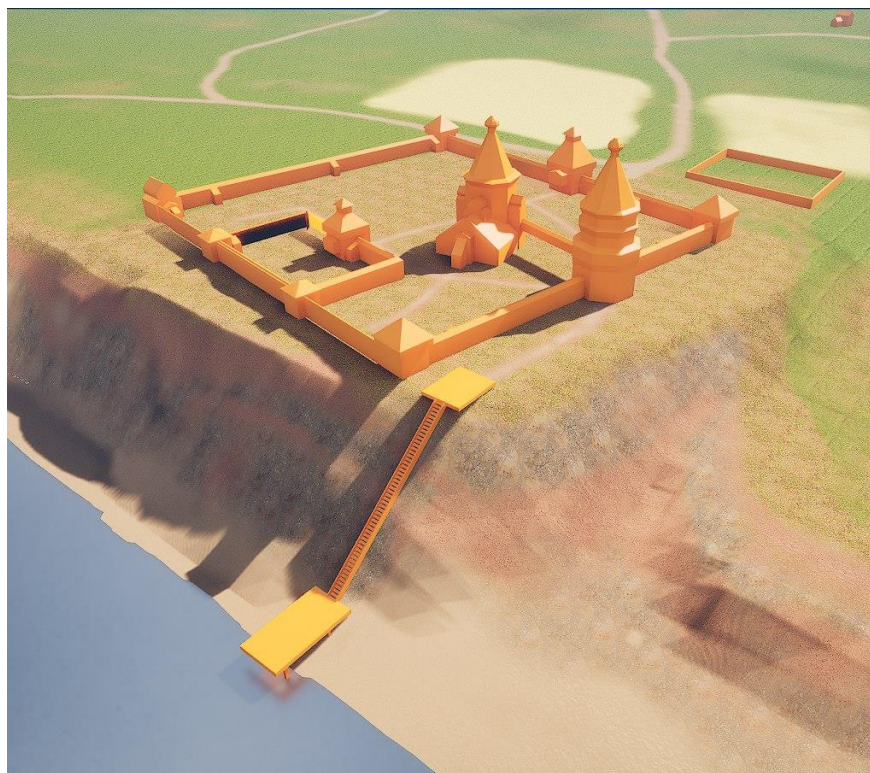


Рисунок 35 – Достроенный причал.

Следующим шагом при формировании полноценной и исторически достоверной 3D-сцены становится сооружение рва вокруг острога, который, согласно историческим данным и анализу китайского рисунка, играет ключевую роль в обороне крепости. Для воссоздания этого рва используется инструмент Ramp, встроенный в редактор ландшафта. Он даёт возможность выделять две точки на поверхности, после чего программа автоматически создаёт либо углубление, либо возвышение между ними. Путём корректировки параметров глубины, ширины и плавности перехода удаётся добиться эффекта ровного или слегка наклонного рва, близкого к тому, который можно увидеть на исторических чертежах.

В данном случае ров делается с двух сторон острога, кроме той, где уже присутствует природный овраг, выполняющий схожую оборонительную функцию. С помощью Ramp указываются начальная и конечная точки вдоль предполагаемой линии рва, а затем настраивается глубина, которую необходимо «прорезать» в рельефе. Важно учесть, что кроме чисто геометрических параметров, инструмент позволяет плавно подогнать поверхность к остальному ландшафту, чтобы ров выглядел естественно и не имел резких краёв или разрывов. Благодаря

таким настройкам процесс моделирования существенно упрощается по сравнению с полностью ручной правкой полигонов, а итоговый результат максимально соответствует поставленной задаче – создать контур рва, отражающего реальное стратегическое расположение укреплений Албазинского острога. Результат построения рва представлен на рисунке 36.



Рисунок 36 – Построенные рвы вокруг Албазинского острога.

После изучения изображения на китайской картине и более глубокого анализа военной стратегии того времени обнаруживается, что некоторые ранее расставленные постройки – палатки, лагеря и батареи – требуют корректировки, поскольку их первоначальное расположение не вполне отражает исторически достоверную логику обороны и взаимодействия с Албазинским острогом. Из подробностей, почерпнутых из визуальных и письменных источников, становится ясно, что часть палаток должна располагаться ближе к реке, чтобы иметь быстрый доступ к воде и пути снабжения, но при этом оставаться вне зоны прямого обстрела со стороны гарнизона. Другие лагеря, напротив, следует переместить на более возвышенные участки, обеспечивая лучшую обзорность и возможность своевременно формировать оборонительные рубежи.

На этапе уточнения конфигурации палаточного лагеря становится ясно, что изначальная расстановка не отражает стратегических и бытовых потребностей войск. Для повышения эффективности и удобства принимается решение изменить форму лагеря, а также добавить отдельную палатку для командующего состава. После детального анализа разрабатывается схема, представленная на рисунке 37, где палатки располагаются квадратом, образуя чёткую структуру и оставляя в центре пространство для административных нужд.

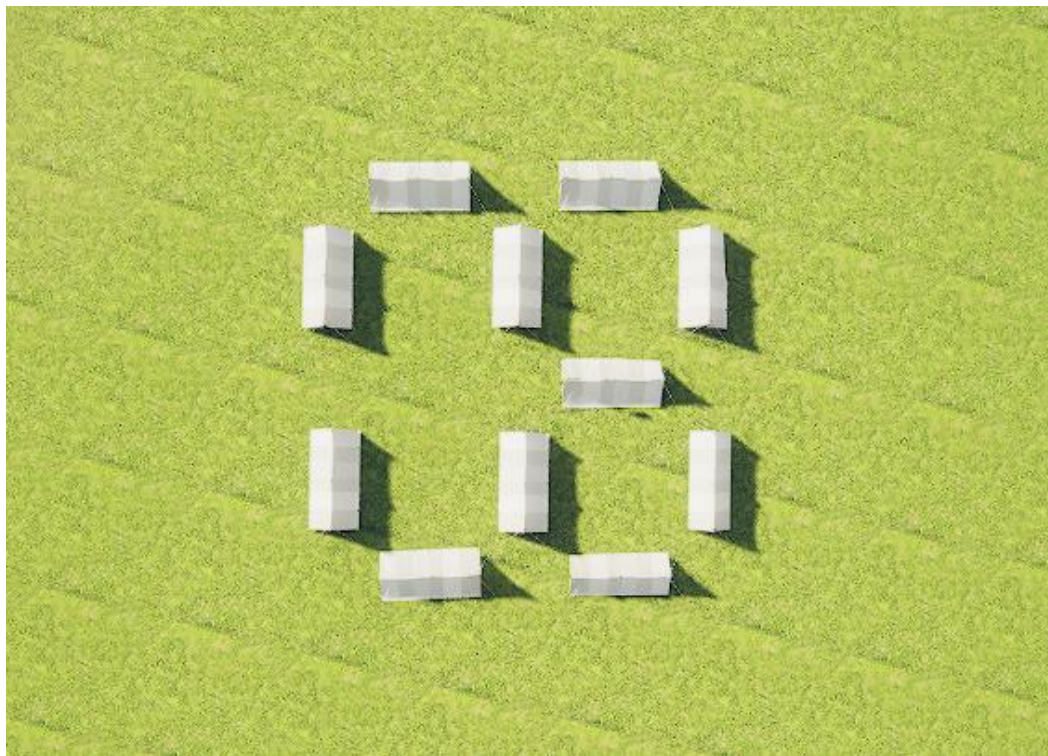


Рисунок 37 – Схема палаточного лагеря.

В самой середине этого квадрата размещается командирская палатка, чтобы сохранять доступность с разных сторон и обеспечивать защиту от внешних угроз. Такой план упрощает логистику, позволяет быстрее реагировать на потенциальные опасности и способствует поддержанию порядка в условиях длительной стоянки.

Параллельно создаются дополнительные земляные валы и заборы из кольев, которые помогают китайским войскам защитить лагерь от внезапных атак. Каждый вал рассчитывается с учётом рельефа, чтобы враги не могли незаметно подойти к палаткам, а в случае штурма возникали естественные преграды. Точно так же батареи приобретают новые позиции: они выстраиваются в местах,

дающих оптимальные углы обстрела, что согласуется с исторической тактикой позиционирования артиллерии на господствующих высотах.

Подобная расстановка гарантирует, что осаждающая сторона может одновременно контролировать ключевые точки и совершать фланговый обстрел, не ставя при этом собственные лагеря под прямую угрозу. Кроме того, оборонительные сооружения возле палаток и батарей связываются с общей системой рвов вокруг острога, позволяя при необходимости быстро перебросить силы к наиболее уязвимым секторам. В результате получается логичная и связная оборонительная сеть: кольцо укреплений вокруг крепости теперь включает в себя как природные особенности рельефа (овраги), так и искусственные преграды (рвы, валы, заборы). На рисунке 38 показан вид сверху.



Рисунок 38 – Вид сверху на местность Албазинского острога.

Также учитываются факторы снабжения и пребывания личного состава в лагерях: исторические документы указывают на важность удобного подхода к воде, достаточного пространства для манёвра конных подразделений и возможности быстрого перемещения артиллерийских орудий. Перестановка палаток и батарей отражает все эти требования. Одновременно сохраняются визуальные

ориентиры, обозначенные на китайской картине, поскольку композиция сцены должна отражать, каким образом осаждающие войска выстраивали свою линию обороны и нападения. Так достигается более полная историческая достоверность, а итоговая сцена передаёт атмосферу и реальное расположение сил, существовавших во времена осады Албазинского острога.

На рисунке 39 представлен 3D-ландшафт Албазинского острога.



Рисунок 39 – 3D-ландшафт Албазинского острога.

Таким образом, завершается процесс интеграции трёхмерной модели ландшафта, созданной в Blender, в игровой движок Unreal Engine 5. На этом этапе не только переносится сама геометрия рельефа, но и существенно дорабатываются детали окружения, включая замену устаревших или неполных текстур на более качественные, добавление новых моделей и корректировку их расположения в соответствии с историческими или архитектурными требованиями. Итоговая сцена приобретает фотореалистичное освещение, реалистичные материалы и удобные инструменты для дальнейшего редактирования, что задаёт прочную основу для последующего наполнения проекта объектами, анимацией и интерактивными элементами.

3.3 Формирование визуального образа сцены посредством настройки света и камер

В системе Unreal Engine объект SunSky выступает основным источником естественного освещения, объединяя в себе динамическую модель солнца и неба для создания реалистичного светового окружения. В отличие от простой связки Directional Light и стандартного Sky Sphere, SunSky позволяет учитывать координаты местности, дату и время суток, а также множество атмосферных параметров, влияющих на цвет и интенсивность солнечного света. При этом сохраняется тесная связь с другими компонентами движка, такими как Sky Atmosphere, Volumetric Clouds и Exponential Height Fog, что даёт возможность детально управлять визуальным обликом сцены.

В центре SunSky лежит идея физически корректного освещения: по умолчанию система рассчитывает положение солнца и цвет неба на основе реальных астрономических формул, позволяющих определить положение светила, исходя из широты, долготы, даты и времени суток. Если ввести точные координаты Албазинского острога и выбрать нужный день, движок автоматически сориентирует солнце на небе, обеспечивая правильное направление и интенсивность света. С переходом между разным временем суток может изменяться цветовая температура: утром свет теплее, в полдень – нейтральнее, а вечером может приобретать более насыщенный оранжевый оттенок.

Сам SunSky включает несколько основных компонентов. Во-первых, это Directional Light, отвечающий за прямое освещение от солнца или луны. Во-вторых, Sky Atmosphere, который придаёт сцене реалистичные градиенты неба и рассеивает солнечные лучи, формируя правильные цвета рассвета и заката. При желании можно задействовать опцию «Affect Global Illumination», которая позволит солнечным лучам не только освещать объекты напрямую, но и рассчитывать отражённый свет, добавляя глубину теням и объём всей сцене. Наконец, в составе SunSky находится контроллер, регулирующий геолокацию, дату, время и все связанные с ними изменения в расположении солнца. Эти параметры видны

в свойствах объекта и могут настраиваться как вручную, так и анимироваться в реальном времени.

Существует возможность интегрировать SunSky с другими системами атмосферных эффектов: например, если добавить Volumetric Clouds, можно добиться вида неба с динамическими облаками, которые будут соответствовать положению солнца и менять характер освещения. Точно так же Exponential Height Fog или Volumetric Fog реагируют на направление и яркость световых лучей, усиливая эффект рассеянного света и создавая выразительные утренние туманы или дымки на горизонте. При активном солнце рассеиваются тёплые блики по верхушкам зданий и деревьев, а при смещении времени к закату система плавно меняет оттенок неба и насыщенность теней.

Помимо общих настроек, объект SunSky предлагает возможность тонкой калибровки цвета и интенсивности источника света через температурный режим (Temperature), который управляет «теплотой» освещения. На рисунке 40 показаны настройки объекта.

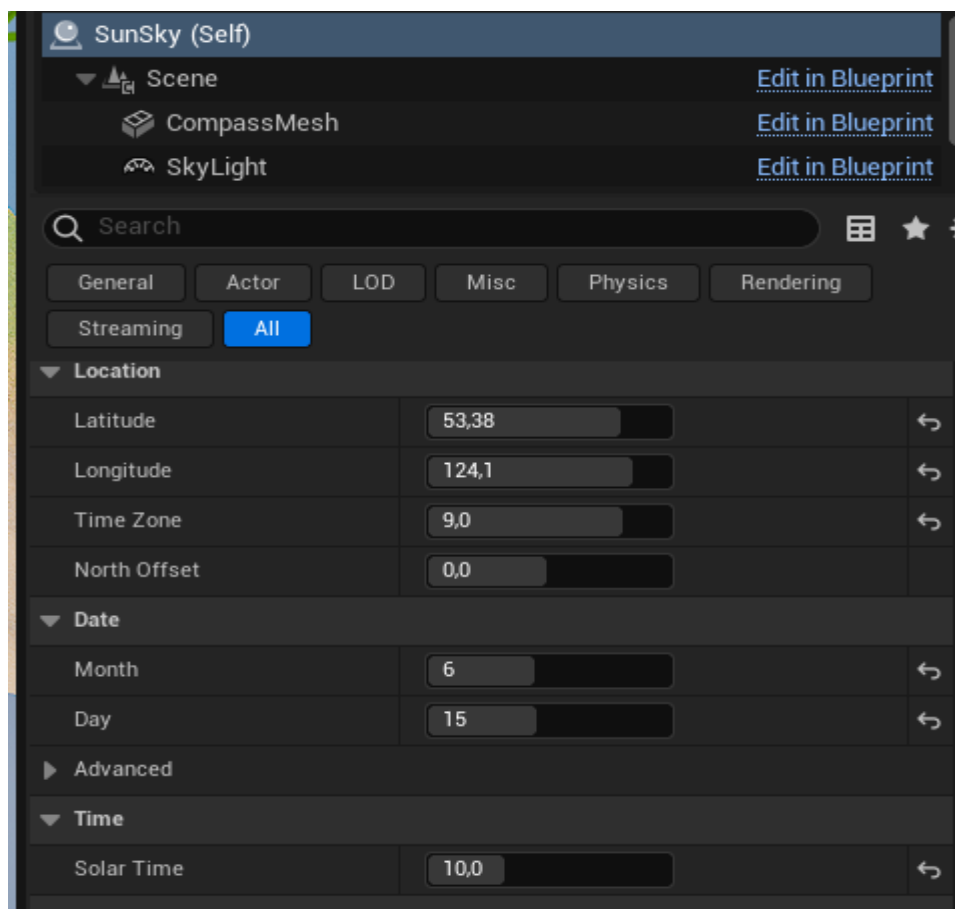


Рисунок 40 – Настройки координат и даты в объекте «SunSky».

Если сцене требуется более художественный подход, можно отойти от строгих астрономических расчётов и вручную выставить угол солнца, яркость и цвет неба в нужном положении, сохраняя при этом естественную основу освещения.

Благодаря данным настройкам можно сильно изменять вид готовой 3D-сцены. На рисунке 41 представлена сцена при установке времени на 8 часов утра.

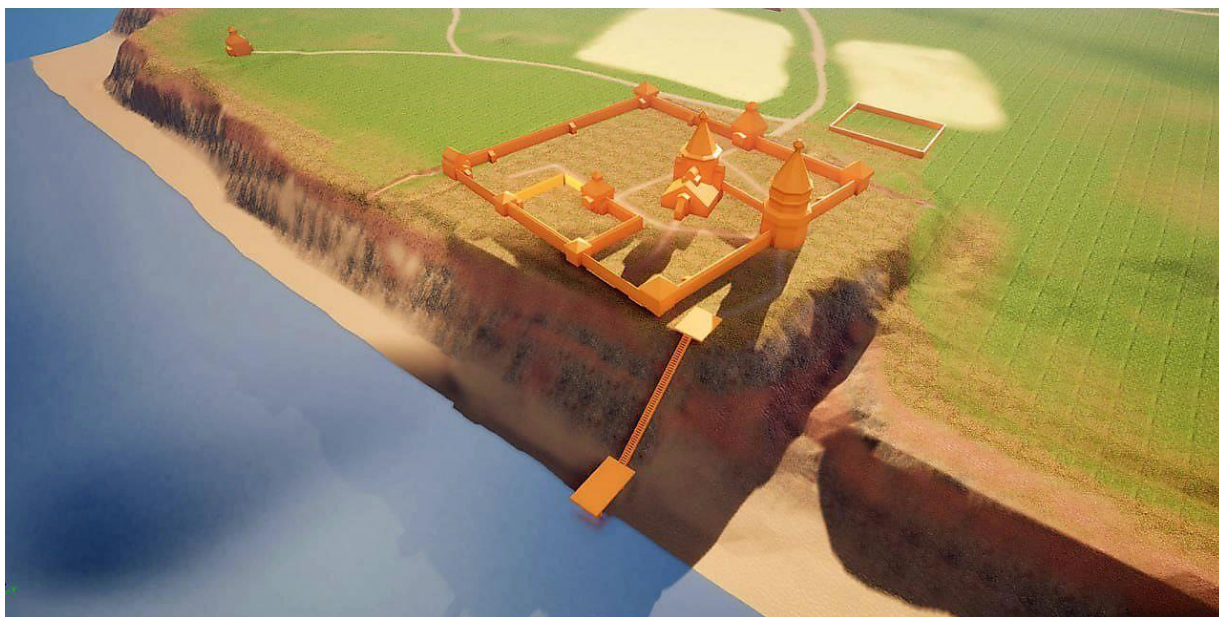


Рисунок 41 – Вид 3D-сцены при значении времени 8 часов утра.

На рисунке 42 представлен тот же вид 3D-сцены, но уже при значении времени 10 часов утра.

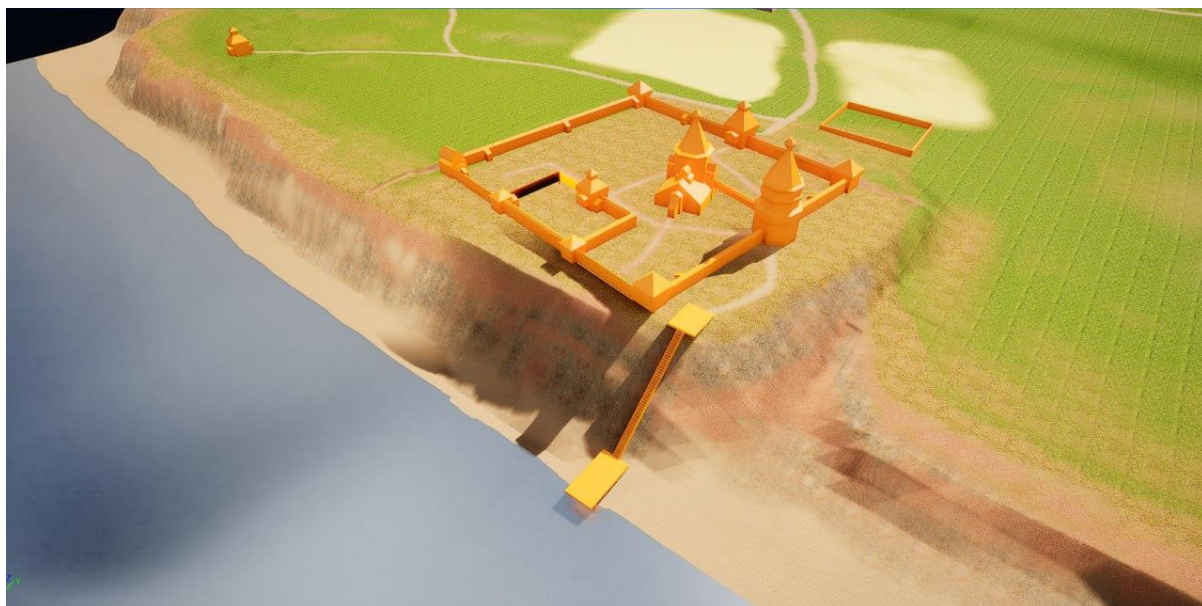


Рисунок 42 – Вид 3D-сцены при значении времени 10 часов утра.

Внутри Post Process Volume корректируется окончательный визуальный результат: там можно добавить Bloom для ярких бликов, Depth of Field для эффекта глубины и прочие инструменты постобработки, которые совместно с SunSky формируют целостный облик сцены.

Таким образом, применение объекта SunSky оказывается крайне важным, поскольку даёт возможность воспроизвести освещение с учётом реальных координат Албазинского острога. При задании точного местоположения и даты, совпадающей со временем предполагаемой осады, система рассчитывает положение солнца и его движение в течение суток. Это позволяет продемонстрировать, как выглядели укрепления и окружающая местность в утренние, дневные и вечерние часы, обеспечивая максимально достоверную визуализацию исторических событий. В результате полученная реконструкция получает не только точную геометрию и расположение объектов, но и реалистичное освещение, отражающее условия конкретного дня осады.

Помимо SunSky также используются и другие эффекты, например Exponential Height Fog.

Exponential Height Fog создаёт в сцене мягкое рассеянное затемнение атмосферы, позволяя добиваться эффекта естественной воздушной перспективы и усиливать ощущение глубины. При взгляде вдаль объекты постепенно «растворяются» в тумане, что выглядит реалистично и помогает зрителю лучше ориентироваться в масштабах пространства. Низкие значения плотности тумана подчеркивают отдалённость элементов на горизонте, а высокие создают ярко выраженную дымку или даже густой туман, который может существенно изменить облик сцены, особенно в сочетании с настраиваемым светом.

Использование Exponential Height Fog особенно важно для исторической реконструкции, поскольку этот эффект воссоздаёт атмосферу определённой погоды или времени суток. Например, утренний туман у реки способен подчеркнуть контуры береговых линий и башен острога, добавляя правдоподобия визуальному ряду. Кроме того, туман помогает сгладить переходы между дальними планами и небом, делая картину целостной: не видно резких краёв, и объекты

гармонично интегрируются друг в друга. На рисунке 43 представлены доступные настройки.

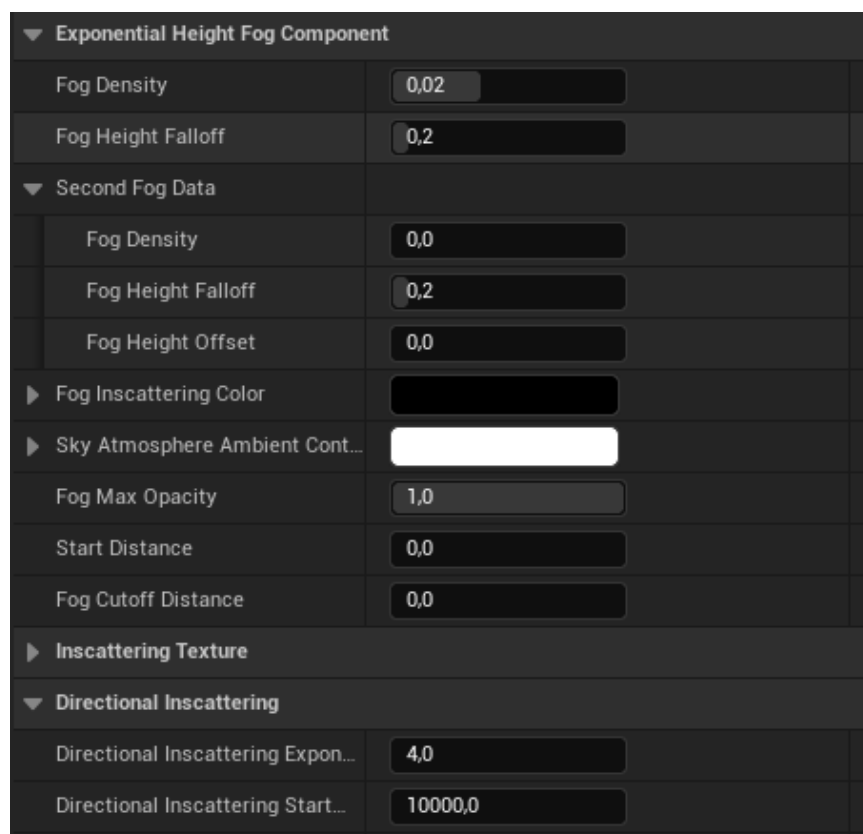


Рисунок 43 – Настройки тумана.

При этом настройка плотности тумана, высоты начала рассеивания и цвета даёт широкий спектр вариантов – от едва заметной дымки до плотной завесы, которая лишь намекает на очертания за ней.

Таким образом, Exponential Height Fog не только формирует общую атмосферу сцены, но и подчёркивает ключевые детали ландшафта, позволяя точнее акцентировать зрительское внимание. В контексте реконструкции осады Албазинского острога туман может помочь достовернее передать погодные условия или время суток, усиливая ощущение присутствия и исторической точности.

Volumetric Clouds в Unreal Engine позволяют создать объёмные облака, реалистично взаимодействующие с освещением и атмосферой, что вносит дополнительную глубину и выразительность в сцену. В отличие от традиционных «плоских» карт неба, объёмные облака имеют трехмерную структуру, благодаря чему солнечные лучи могут проходить сквозь слои облаков, формируя яркие световые эффекты и мягкие тени. При изменении времени суток или погодных

условий меняется и характер освещения в облаках: на рассвете они подсвечиваются тёплым рассеянным светом снизу, а в полдень выглядят более ослепительно-белыми на фоне насыщенного неба.

Эффект присутствия увеличивается за счёт динамики: облака могут медленно перемещаться по небу, их форма и плотность меняются с течением времени, создавая иллюзию движения воздушных масс. Это особенно актуально при исторических реконструкциях, поскольку помогает воссоздать более живую и правдоподобную обстановку. Volumetric Clouds также взаимодействуют с другими атмосферными элементами, такими как Exponential Height Fog или Sky Atmosphere, что даёт возможность добиться плавных переходов между небом, туманом у горизонта и облачными массивами, а при правильном выборе интенсивности и направления солнечного света можно подчеркнуть драматический или наоборот умиротворённый характер сцены.

Таким образом, Volumetric Clouds не только делают небо в игре или визуализации более реалистичным, но и активно влияют на общий облик проекта, создавая атмосферу, которая в значительной степени формирует впечатление от трёхмерного пространства.

Камеры в Unreal Engine играют ключевую роль в формировании композиции и общего восприятия трёхмерной сцены, позволяя задать нужную перспективу и акценты. В движке используется несколько типов камер, среди которых наиболее распространены Camera Actor и Cine Camera Actor. Camera Actor представляет собой базовую сущность, управляющую точкой обзора в пространстве, и может быть статичной или подвижной в зависимости от анимации и событий игры. Cine Camera Actor, в свою очередь, даёт более кинематографический подход к съёмке, поскольку поддерживает параметры фокусного расстояния, диафрагмы и имитацию различных форматов плёнки, позволяя точнее настраивать глубину резкости и угол обзора.

В Unreal Engine имеется инструмент Sequencer, позволяющий анимировать камеру по ключевым кадрам (keyframes). При этом можно задать плавную или ускоренную смену положения, поворота, фокусного расстояния, настроить

ускорение/замедление (easing in/out) и многое другое. Используя несколько камер и Sequencer, создаётся полноценная «съемка»: переходы, ракурсы, пролёты над ландшафтом, эффект «камера на рельсах», имитация крана, ручной камеры и так далее.

Одна из ключевых возможностей камер – управление глубиной резкости. Это даёт большое поле для художественного выражения: например, можно резко выделить близкий план (деталь сооружения или фрагмент ландшафта) и при этом размыть дальние объекты. Или же наоборот – навести фокус на дальний замок, сохранив передний план неопределённым. В кинематографических сценах часто используется приём фокусировки на одном персонаже, а при его перемещении – плавный переход фокуса на другого (rack focus).

Камеры также взаимодействуют с системой постпроцессинга через Post Process Volume. Это означает, что итоговое изображение может быть доработано с помощью цветокоррекции, виньетирования, эмуляции плёночных эффектов и многих других приёмов. Возможность задать лут-таблицы (LUT) помогает настраивать конкретную палитру и настроение сцены: тёплое, холодное, контрастное или более мягкое. Если нужно акцентировать драматизм, добавляются Bloom для ярких бликов или Chromatic Aberration для лёгкого цветового искажения по краям.

В некоторых случаях к камере прикрепляются эффекты расшатанности (camera shake), имитирующие вибрацию при взрывах или выстрелах, а также используется искажение линз, вроде рыбьего глаза (fish-eye), для получения особых перспективных эффектов. Подобные приёмы уместны в тех моментах, когда требуется подчеркнуть экшен или достичь определённого художественного стиля.

В исторических реконструкциях грамотное применение камер помогает раскрыть структуру воссоздаваемой территории. Например, можно настроить пролёты над ландшафтом, чтобы показать общую планировку острога и прилегающие укрепления, или же сфокусироваться на деталях – расположении башен, рвов, лагерей. Различные точки обзора позволяют создавать как панорамные

ракурсы, так и камерные, более атмосферные сцены, когда внимание концентрируется на отдельных объектах. Киношная логика съёмки даёт возможность формировать эмоциональную напряжённость или подчёркивать исторические нюансы, используя точную настройку фокуса, освещения и постпроцессинга для максимальной выразительности. На рисунке 44 представлен результат использования всех эффектов и камеры.

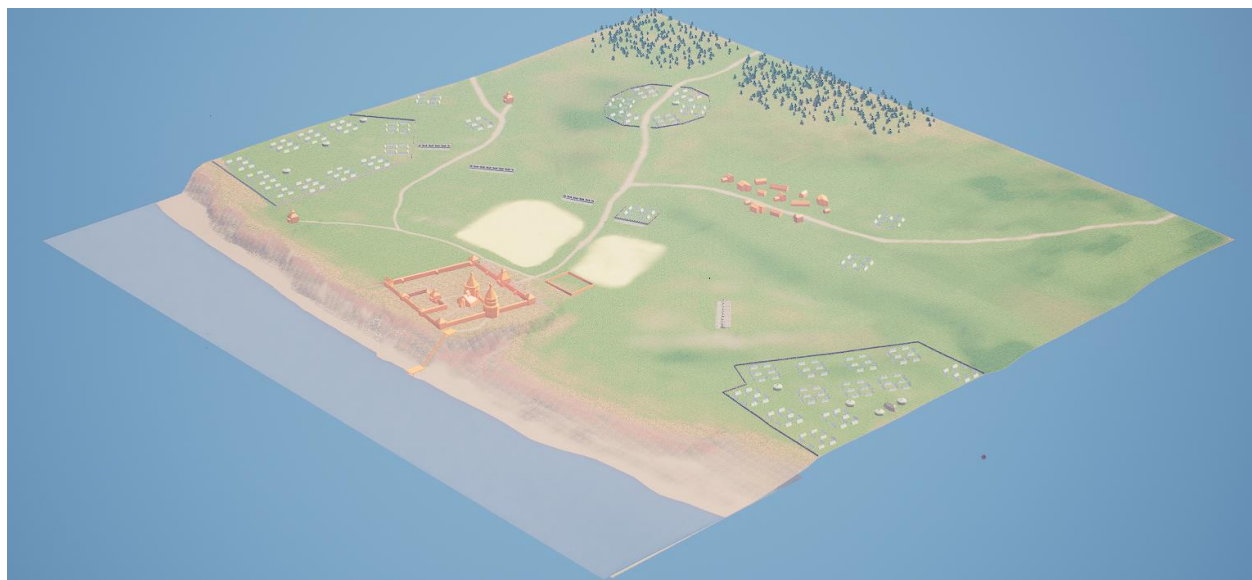


Рисунок 44 – Результат использования эффектов и камеры.

Благодаря системе SunSky реальное положение солнца определяется с учётом выбранных координат и даты, создавая естественное распределение света на протяжении суток. Дополнительно используются volumetric clouds, в которых солнечные лучи проходят сквозь слои облаков, обогащая картину мягкими светотенями, а введение Exponential Height Fog усиливает эффект воздушной перспективы, позволяя далёким объектам постепенно таять в дымке. Важно и грамотное применение постпроцессинга: цветокоррекция, Bloom, настройки глубины резкости и другие эффекты подчёркивают детали, формируя целостную атмосферу, будь то прохладное утро или тёплый закат. При этом различные типы камер, включая базовую Camera Actor и более кинематографичную Cine Camera Actor, дополняют визуальный ряд, давая возможность захватывать как широкие панорамные ракурсы, так и сфокусированные крупные планы. Фокусное расстояние, глубина резкости и другие параметры точно настраиваются, чтобы показать нужные элементы сцены либо в контексте окружающего пространства, либо

вблизи, выделяя отдельные исторические детали. Все эти инструменты работают в тесном взаимодействии, делая итоговое представление о ландшафте и архитектуре Албазинского острога не только правдоподобным, но и визуально впечатляющим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование современных компьютерных технологий сегодня даёт возможность буквально «оживлять» страницы истории. В данной работе эти возможности были применены к событиям первой осады Албазинского острога 1685 года. Точный рельеф, модели укреплений и базовая застройка были созданы в AutoCAD и Blender, а затем собраны и визуализированы в Unreal Engine 5. Такой подход позволил воссоздать сцену площадью 800 на 800 метров в масштабе 1:1 с высокой степенью визуальной и исторической достоверности.

Все поставленные цели и задачи выполнены:

- проанализированы исторические и топографические источники;
- построена цифровая модель рельефа с реальными высотами;
- разработаны и размещены основные фортификационные объекты;
- настроены материалы, освещение и камерные ракурсы для фотореалистичной подачи.

Полученная 3D-сцена даёт возможность исследователям, студентам и широкой аудитории увидеть, как мог выглядеть Албазин во время осады, оценить расстановку сил и особенности местности. Проект уже пригоден для демонстраций в музеях, на тематических лекциях и в учебных курсах по военной истории Дальнего Востока.

Перспективы дальнейшей работы включают добавление интерактивных элементов (анимацию действий гарнизона и осаждающих), расширение набора детализированных построек и использование дополнительных археологических данных для ещё большей точности. Тем самым проект демонстрирует, как цифровые инструменты могут углубить наше понимание исторических событий и сделать культурное наследие более доступным и наглядным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Аббасов, И. Б. Основы трехмерного моделирования в графической системе 3ds Max 2009 [Электронный ресурс] : учебное пособие / И. Б. Аббасов. – Москва : ДМК Пресс, 2009. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/1341-05.05.2025>
- 2 Алексеева, Т. А. 3D-реконструкция оборонных памятников в Blender : метод. пособие / Т. А. Алексеева. – Казань : КФУ, 2022. – 112 с. – ISBN 978-5-95008-001-3.
- 3 Алиев, Р. М. Blender 3D для начинающих [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Р. М. Алиев. – Москва : ДМК Пресс, 2023. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/200001> – 10.05.2025.
- 4 Антипова, Е. И. Визуальная археология: Unreal Engine 5 как инструмент реконструкции культурного наследия // Историческая информатика. – 2023. – № 4. – С. 15-27.
- 5 Баранов, П. В. AutoCAD Civil 3D: основы инфраструктурного моделирования : учеб. пособие / П. В. Баранов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2020. – 384 с. – ISBN 978-5-9775-1555-2.
- 6 Беляев, С. М. Компьютерные реконструкции в исторической геоинформатике: российский опыт // Историческая информатика. – 2021. – № 3. – С. 5-19.
- 7 Богданов, К. И. Nanite-модели в Unreal Engine 5 : практическое руководство / К. И. Богданов. – Москва : Питер, 2022. – 208 с. – ISBN 978-5-4461-2033-9.
- 8 Борзенко, Т. В. Применение LiDAR-сканирования для VR-реконструкций крепостей // ГеоИнформатика. – 2021. – № 8. – С. 61-70.
- 9 Бугаев, С. Н. Компьютерная историко-топографическая реконструкция Албазинского острога // Молодёжь XXI века: шаг в будущее : матер. XX регион. науч.-практ. конф. – Благовещенск : АмГУ, 2019. – Т. 3. – С. 192-193.
- 10 Бутенко, О. А. Lumen в музейных VR-экспозициях // Музей и IT. – 2023. – № 2. – С. 62-72.

- 11 Вавилова, Л. Н. Оценка точности SRTM-данных для исторических 3D-реконструкций // ГеоИнформатика. – 2020. – № 6. – С. 41-50.
- 12 Виноградов, И. П. Моделирование фортификаций XVII в. в Blender // Труды Томского политехнического университета. – 2021. – Т. 342, № 7. – С. 99-108.
- 13 Гаврилов, Д. С. Использование AutoCAD при оцифровке археологических планов // Археология и цифра. – 2019. – № 1. – С. 12-20.
- 14 Горохова, К. В. Игровые движки в музейной практике: сравнение Unity и Unreal // Музей будущего. – 2022. – № 3. – С. 80-93.
- 15 Григорьев, М. Л. Python-скрипты для автоматизации Blender : учеб. пособие / М. Л. Григорьев. – Казань : КГТУ, 2021. – 140 с. – ISBN 978-5-93962-901-7.
- 16 Давыдов, Р. Ю. Интеграция Megascans-материалов в Unreal Engine 5 // В мире 3D. – 2023. – № 5. – С. 22-29.
- 17 Дементьев, А. А. Руководство по фотограмметрии для культурного наследия / А. А. Дементьев. – Санкт-Петербург : Реставрация, 2020. – 208 с. – ISBN 978-5-907291-11-5.
- 18 Дикинсон, К. Оптимизация игр в Unity 5 [Электронный ресурс] / К. Дикинсон. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/90109> – 10.05.2025.
- 19 Джонатан, Л. UV-Mapping в Unity / пер. с англ. Р. Н. Рагимов. – Москва : ДМК Пресс, 2016. – 316 с. – ISBN 978-5-97060-234-8.
- 20 Друковский, А. В. 3ds Max 2014. Лучший самоучитель / А. В. Друковский, О. В. Якунина. – Москва : Астрель, 2015. – 352 с.
- 21 Егорова, Н. П. Освоение Приамурья и роль Албазина в XVII веке / Н. П. Егорова. – Благовещенск : АмГУ, 2018. – 118 с.
- 22 Ерёмин, И. Е. Трёхмерное компьютерное моделирование Албазинского острога периода 1684 г. I // Информатика и системы управления. – 2019. – № 4(62). – С. 10-25.

- 23 Ерёмин И. Е., Нацвин А. В., Лохов А. Ю. Трёхмерное компьютерное моделирование Албазинского острога периода 1684 г. II // Информатика и системы управления. – 2020. – № 2(64). – С. 43-56.
- 24 Жуков, П. В. Историческая геоинформатика и 3D-моделирование крепостей // Историческая информатика. – 2022. – № 2. – С. 66-78.
- 25 Захаров, А. Р. Алгоритмы оптимизации ландшафтов для VR-туров // Графика и VR. – 2021. – № 4. – С. 44-53.
- 26 Иванова, В. С. VR-шлемы на уроках истории: потенциал и ограничения // Педагогика XXI века. – 2023. – № 6. – С. 101-111.
- 27 Ильин, С. Д. Retopology workflow с TopoGun // 3D-Artist. – 2020. – № 12. – С. 14-23.
- 28 Каменев, М. А. Procedural Terrain в Unreal Engine 5 : генерация и LOD-оптимизация // DevGame. – 2022. – № 9. – С. 70-82.
- 29 Карташова, О. П. Unity vs Unreal Engine для цифрового наследия // Мультимедиа и культура. – 2021. – № 2. – С. 33-46.
- 30 Кириллов, В. Е. Сравнение движков Unity, CryEngine и Unreal для heritage-проектов // Digital Humanities Russia. – 2020. – Т. 3, № 1. – С. 58-71.
- 31 Козлова, Е. Л. PBR-текстуры в исторических 3D-моделях // Вестник дизайна. – 2023. – № 3. – С. 88-97.
- 32 Коновалов, Д. Г. Экспорт DXF-чертежей из AutoCAD в Blender // CAD & Graphics. – 2021. – № 7. – С. 24-30.
- 33 Корнеев, А. Б. Исторические карты XVII века для 3D-реконструкций // Геоматика. – 2019. – № 5. – С. 54-63.
- 34 Кузнецова, О. И. ГИС-подходы к виртуальным городам XVIII в. // Рос. журнал ГИС. – 2022. – № 4. – С. 12-25.
- 35 Лапшин, П. Н. Автоматическое формирование карт высот из спутниковых данных // Геоданные. – 2020. – № 2. – С. 40-48.
- 36 Лебедев, Г. Н. Фотореалистичный рендер в Eevee: пособие для архитекторов / Г. Н. Лебедев. – Новосибирск : НГАСУ, 2022. – 128 с.

- 37 Луговая, С. А. Камеры и Sequencer в Unreal Engine 5 // Post-Production. – 2023. – № 6. – С. 57-65.
- 38 Макаров, Д. Ю. LiDAR-сканирование памятников архитектуры : практич. руководство / Д. Ю. Макаров. – Пермь : ПНИПУ, 2021. – 180 с. – ISBN 978-5-7944-2748-1.
- 39 Мельник, А. Ф. Плагин BlenderGIS: импорт карт и высот // Blender-журнал. – 2020. – № 3. – С. 9-17.
- 40 Миронова, И. К. Nanite и Virtual Shadow Maps: будущее больших сцен // CG-World. – 2023. – № 10. – С. 38-46.
- 41 Николаев, С. О. Автоматизация топографических планов в AutoCAD // CADМастер. – 2019. – № 8. – С. 25-32.
- 42 Осипов, Е. Г. Quixel Bridge: библиотека сканов для UE5 // АрхВиз. – 2022. – № 5. – С. 60-70.
- 43 Павлов, П. А. Виртуальная реконструкция Новгородского кремля в UE4 // Архитектура и ИТ. – 2019. – № 3. – С. 43-55.
- 44 Петрова, К. С. Unreal Engine 5 в музейной визуализации: опыт Эрмитажа // Музей и ИТ. – 2024. – № 1. – С. 41-49.
- 45 Плахов, А. Ю. Интерактивные VR-туры по памятникам ЮНЕСКО // Виртуальные технологии. – 2023. – № 2. – С. 77-88.
- 46 Поляков, В. М. Историческое моделирование в AutoCAD: от чертежа к VR // Инженерная графика. – 2020. – № 4. – С. 12-21.
- 47 Романова, Л. В. Основы UV-развёрток в Blender : учеб. пособие / Л. В. Романова. – Ростов-на-Дону : ЮФУ, 2021. – 96 с. – ISBN 978-5-9275-3100-4.
- 48 Савельев, А. Л. Глобальное освещение Lumen в исторических сценах // DevGame. – 2022. – № 11. – С. 50-59.
- 49 Сергеева, М. Д. Воспроизведение водных поверхностей в Unreal Engine 5 // CG-Море. – 2023. – № 4. – С. 18-27.
- 50 Шестаков, Д. И. Динамическая глобальная иллюминация в Unreal Engine 5 : учеб. пособие / Д. И. Шестаков. – Москва : НИТУ МИСиС, 2023. – 152 с. – ISBN 978-5-91592-310-2.