

Веселов И.П., Пажуков К.А.  
*Научный руководитель: к.т.н., доцент Зяблицева О.В.*  
*ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая Академия*  
*им. В.А. Дегтярева»*  
*Владимирская обл., г. Ковров, ул. Маяковского 19*  
*pmsapr@dksta.ru*

### **Симуляция гидрологической эрозии ландшафта**

С каждым годом граница между реалистичностью и компьютерной графикой становится все менее заметной. Многие современные фильмы и видео игры нельзя представить без бескрайних ландшафтов, для их создания постоянно ищутся новые методы генерации поверхностей, чтобы сократить время и ресурсы для производства. Одним из таких методов и является гидрологическая эрозия.[1]

Процесс гидравлической эрозии состоит из нескольких отдельных этапов. Во-первых, в каком-то месте или местах появляется вода. Это может быть связано с наличием дождя, источников воды или из-за потока воды. Вода поглощает материал либо из-за потока, разрушающего поверхность, либо из-за растворения. Затем вода, а также захваченный осадок транспортируются в соответствии с внутренними и внешними силами. Наиболее важным фактором, влияющим на поток воды, является гравитация, хотя внутренние силы также играют важную роль. Вода сбрасывает переносимый и подвешенный материал в определенных местах. На этот процесс осаждения влияют два основных фактора. Во-первых, вода замедляется, так что тяжелые частицы материала больше не могут переноситься. Вторым фактором, способствующим процессу осаждения, является превышение емкости водного осадка. Это вызвано испарением воды. Таким образом, процесс гидравлической эрозии может быть описан следующими четырьмя независимыми этапами:

- 1) Создаем частицу в случайном месте на ландшафте
- 2) Перемещаем нашу частицу по ландшафту, используя законы динамики
- 3) Выполним осаждение между поверхностью и частицей
- 4) Если частица слишком мала, то просто удалим её

Наша частица имеет позицию и скорость, определяющую то, как она перемещается. Кроме того, она имеет объём и долю, определяющую, какая часть объёма является осадочными породами. При создании новой частицы нам будет достаточно прописать ее позиции в пространстве, все остальные характеристики будут общие для всех частиц. В начале каждой итерации мы создаем новую частицу, которая расположена в случайных координатах, принадлежащих нашей карте высот. Частица испытывает направленное вниз ускорение, вызванное гравитацией, но она находится на поверхности, что делает ускорение вниз невозможным. Поэтому вместо этого частица подвергается силе, направленной вдоль поверхности и пропорциональной нормали к поверхности. Процесс образования осадочных пород физически происходит как перенос осадочных пород с земли на частицу и обратно в точке расположения частицы. Массообмен пропорционален разности между концентрацией поверхности и равновесной концентрацией.[2] Если наша равновесная концентрация выше текущей, то частица поглощает осадочные породы. Если ниже, то теряет их. Если они равны, то никаких изменений происходить не будет. Если наша итоговая концентрация будет меньше нуля, то просто приравняем ее к нулю. Изменение концентрации внутри нашей частицы полностью описывается уравнением массообмена. Изменение в карте высот дополнительно умножается на объём частицы, потому что мы меняем его пропорционально не концентрации, а массе. В конечном итоге мы получим коэффициент, который мы можем вычесть из высоты в данной точке. В конце каждого шага времени частица теряет немного массы в соответствии со своей скоростью испарения. Данный процесс повторяется для десятков тысяч частиц, которые создаются в случайных позициях и начинают симулироваться по отдельности.

Для того, чтобы продемонстрировать нашу симуляцию, нам потребуются какие-то первоначальные данные. Для работы с ландшафтом используется карта высот. Карта высот представляет из себя двумерную карту, которую можно использовать для того, чтобы создать

иллюзию того, что одни части ландшафта выступают сильнее, чем другие, то есть имеют большую высоту. Мы будем хранить наши данные в массиве, где 1 будет самой высокой точкой ландшафта, а 0 самой низшей.

Для генерации ландшафта был выбран алгоритм Diamond Square, т.к. он позволял сгенерировать максимально приближенный к реальности ландшафт. Алгоритм начинает работу с двумерного массива размера  $2^n + 1$ . В четырёх угловых точках массива устанавливаются начальные значения высот. Шаги diamond и square выполняются поочередно до тех пор, пока все значения массива не будут установлены. Шаг diamond - для каждого квадрата в массиве, устанавливается срединная точка, которой присваивается среднее арифметическое из четырёх угловых точек плюс случайное значение. Шаг square - берутся средние точки граней тех же квадратов, в которые устанавливается среднее значение от четырёх соседних с ними по осям точек плюс случайное значение. Случайное число обычно выбирается в промежутке  $[-R^i, R^i]$ , где  $R$  это фактор неровности в промежутке от 0 до 1, а  $i$  это номер итерации (шаг diamond и шаг square это одна итерация). Соответственно, при каждой итерации случайное значение, прибавляющееся к срединным точкам, уменьшается.

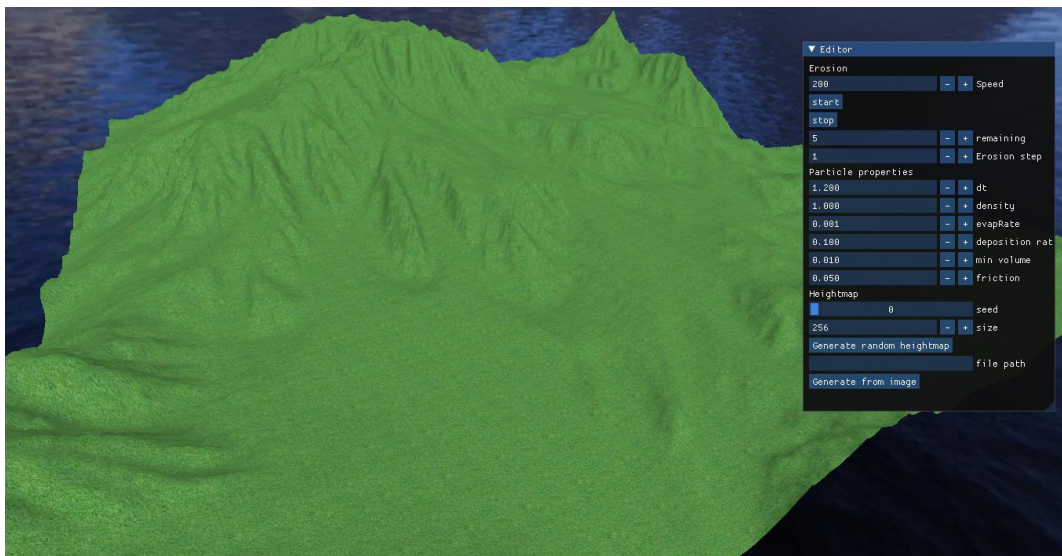


Рис.1 результат симуляции

В результате у нас есть полноценная система, которая позволяет процедурно генерировать случайные ландшафты и симулировать гидрологическую эрозию, которую мы сможем отслеживать в реальном времени (рис. 1).

### Литература

1. Jean-David Genevau. Terrain Generation Using Procedural Models Based on Hydrology / Jean-David Genevau, Eric Galin, Eric Guérin, Adrien Peytavie, Bedrich Benes // HAL Open Science. – 2020
2. Vinogradov, Yu. B. HYDROLOGY OF SLOPING TERRAIN / Yu. B. Vinogradov // State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia