

УДК 551.577.2+614.8.013

## РАЗРАБОТКА СИМУЛЯЦИОННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЙ ОТ НАВОДНЕНИЙ С МНОГОФАКТОРНЫМ УЧЁТОМ

Л.З. Римова<sup>1</sup>, В.В. Кугуракова<sup>2</sup>, Р.С. Якушев<sup>3</sup>

Казанский (Приволжский) федеральный университет

<sup>1</sup>laysanitis@gmail.com; <sup>2</sup>vlada.kugurakova@gmail.com; <sup>3</sup>sultanich@rambler.ru

### **Аннотация**

Рассматриваются проблемы разработки приложения для моделирования разрушений от наводнений с учетом ландшафта, типов почв, поселенческих инфраструктур, коэффициентов износа плотин, заградительных построек в зоне затопления и других факторов. Разработаны методы оценки опасности наводнения и предложены подходы для моделирования ситуаций, ведущих к снижению потенциального ущерба.

**Ключевые слова:** 3D, виртуальная реальность, симуляция, моделирование чрезвычайных ситуаций, наводнение

### **ВВЕДЕНИЕ**

Человечество всегда находилось и продолжает находиться в зависимости от состояния водных ресурсов: недостатка питьевой воды и ее качества, наконец, избытка воды при наводнениях. Хотя в течение только XX-го века в Центральной Европе прошло огромное количество наводнений, из года в год ущерб от наводнений только увеличивается. Общая площадь паводкоопасных зон на Земном шаре составляет 3 миллиона квадратных метров с населением в 1 миллиард человек. Как известно, убытки от наводнений колоссальные, в некоторые годы они достигают свыше 200 миллиардов долларов.

Программных продуктов, которые дают полный анализ картины наводнения, в частности, учитывающих свойственные затапливаемым территориям типы почв и их впитываемость, несмотря на то, что это всемирная проблема, нет. Рассмотренные аналоги являются больше примерами моделирования наводнения,

а не симуляционными средами. Для прогнозирования опасности наводнений в конкретной местности необходимо рассмотреть особенности ландшафта, свойственные её территориям типы почв, статистические данных о погоде, в частности, о годовых осадках, карте населения. Для реализации приложения необходимо разработать математическую модель прогнозирования наводнений, модель оценки риска разрушений от наводнения, визуализацию симуляции наводнения этой местности и демонстрацию процесса впитывания влаги свойственными её территориям почвами.

### **СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ**

Одним из симуляторов наводнений является программный продукт TUFLOW [3], он представляет собой мощный движок, который обеспечивает одномерное и двумерное решения уравнений свободной поверхности потока для имитации наводнений и распространения приливной волны, предлагая решать следующие задачи: разливы рек, включая затопление рек и ручьев со сложными узорами потока; городские наводнения; моделирование сети труб; штормовой прилив и затопление цунами; устьевые и прибрежные приливы.

MIKE FLOOD – другой симулятор, имеющий уникальный набор инструментов для профессионального моделирования наводнений, он включает в себя широкий выбор специализированных 1D и 2D движков моделирования наводнений, что позволяет моделировать многие ситуации – реки, поймы, наводнения на улицах, дренажные сети, прибрежные районы, плотины, дамбы и дайковые нарушения, а также любые комбинации из них. Отметим специально разработанную модель MIKE FLOOD для оценки воздействия на окружающую среду от наводнений, предоставляющую возможности для отображения динамически связанных процессов переноса загрязнения и качества воды.

### **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

Основным источником стока во время половодья считается таяние запасов воды в снежном покрове ( $S$ ). Осадки ( $x$ ) во время снеготаяния в несколько раз меньше запасов воды в снежном покрове. Условия их стекания недалеки от условий стекания талых вод, потому данные виды стока суммируем и обозначим как сток талых вод ( $Y$ , мм). Осадки, выпадающие после схода снега на просыхающую

плоскость бассейна, как правило, используются на испарение ( $X$ ). Хотя в дождливые годы в лесной зоне они вызывают подъемы затрат воды на спаде половодья. Дождевой сток на спаде считается с внедрением стандартной кривой спада. Сток с помощью глубочайшего подземного питания рассчитывают по величине расхода воды в конце зимы. Вследствие расчленения гидрографа стока половодья по типам водного кормления выделяют 3 основополагающие суммарного стока (в мм слоя воды): 1) сток талых вод  $Y$  (появляется вследствие таяния снега и поступления осадков периода снеготаяния), 2) дождевой сток  $Y_R$  (появляется осадками, выпадающими вследствие схода снега) и 3) подземный сток  $Y_u$ . На графике (рис. 1) видны составляющие стока весеннего половодья.

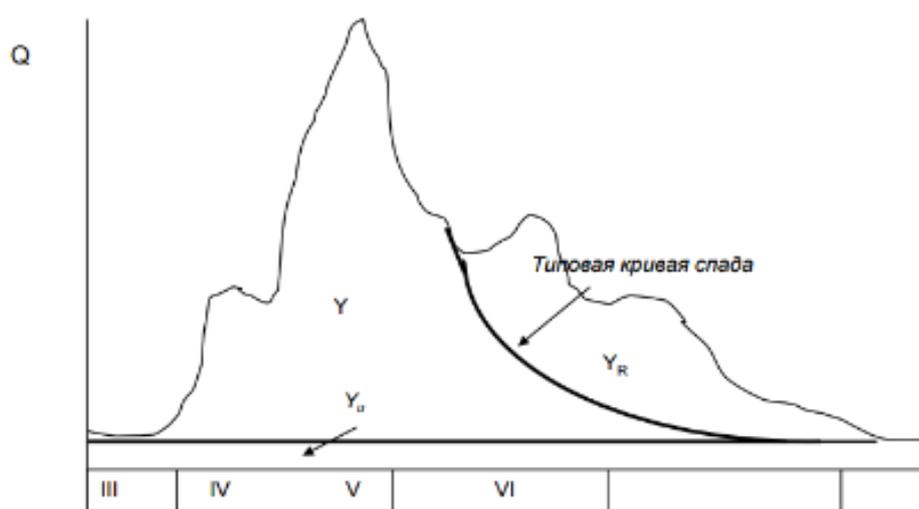


Рис. 1. Вычисление гидрографа половодья видам водного питания

При наводнении предусматриваются 4 зоны катастрофического затопления. Первая зона примыкает именно к гидросооружению или же к началу природного явления, простираясь на 6–12 км, высота волны может достигать нескольких метров. Волна характеризуется бурным потоком воды со скоростью течения 30 и даже более км/час. Время прохождения волны – 30 минут

Вторая зона – быстрого течения (15–20 км/час), ее протяженность может быть 15–25 км; время прохождения волны – 50–60 мин.

Третья зона – среднего течения со скоростью 10–15 км/час и протяженностью до 30–50 км; время прохождения волны – 2–3 часа.

Четвертая зона – слабого течения (разлива). Скорость течения может достигать 6–10 км/час. Ее протяженность будет зависеть от рельефа местности и может составить 36–70 км от гидросооружения или места начала природного явления.

Впитывание воды в почву или инфильтрация – сложный физический процесс. Скорость впитывания воды в почву зависит от ряда факторов (начальной влажности и плотности почв, водопрочности агрегатов, дренирующего действия корневой системы, напора воды, свойств фильтрующей жидкости и др.) и комплексного их воздействия. Скорость инфильтрации количественно оценивается слоем впитавшейся воды за единицу времени. Выделяют ряд зависимостей, которые влияют при определении скорости инфильтрации. Для конкретных местностей возможно будет нельзя применить расчетные формулы. Это происходит из-за множества факторов, оказывающих влияние на скорость впитывания почвы водой, и существуют различные мнения ученых, касающиеся скорости инфильтрации.

Необходимы эксперименты по отдельным местностям и получение точных коэффициентов для конкретных условий. Таким образом, водопроницаемость – способность почвы воспринимать и пропускать воду из верхних горизонтов в нижние. В процессе водопроницаемости различают впитывание и ее фильтрацию (просачивание). Впитывание – это поступление воды в почву, не насыщенную влагой; фильтрация же начинается с момента, когда большая часть пор почвы данного слоя заполнена водой.

Водопроницаемость измеряется количеством влаги, поступавшей в почву с ее поверхности. В первый период она обычно очень велика, затем уменьшается и к концу фильтрации становится постоянной. Водопроницаемость почв зависит от механического состава, наличия перегнойных веществ и степени структурности. Как известно, наилучшим просачиванием обладают песчаные почвы, наихудшим – глинистые. Также известно, что у структурных почв водопроницаемость выше, чем бесструктурных.

С целью изучения скорости впитывания и фильтрации на выбранных для исследования участках земли в почву на 5 см углубляется цилиндр, в который наливается 50 мл воды и фиксируется время фильтрации. В результате данного эксперимента были получены результаты водопроницаемости почв (рис. 2).

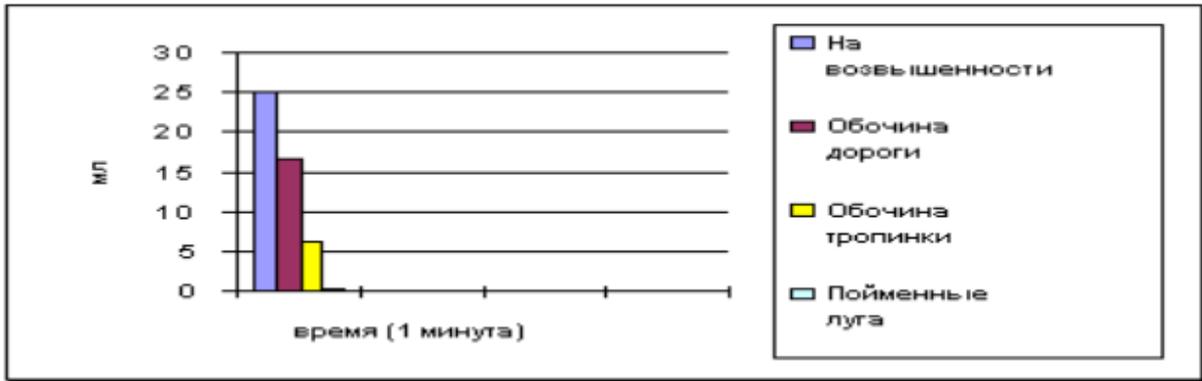


Рис. 2. Диаграмма водопроницаемости почв

Но у дороги больше песка, мелких камней, остающихся после зимней посыпки. Наименьшей проницаемостью обладают почвы пойменного луга, достаточно увлажнённые. Это сказывается и на видовом составе растительных сообществ.

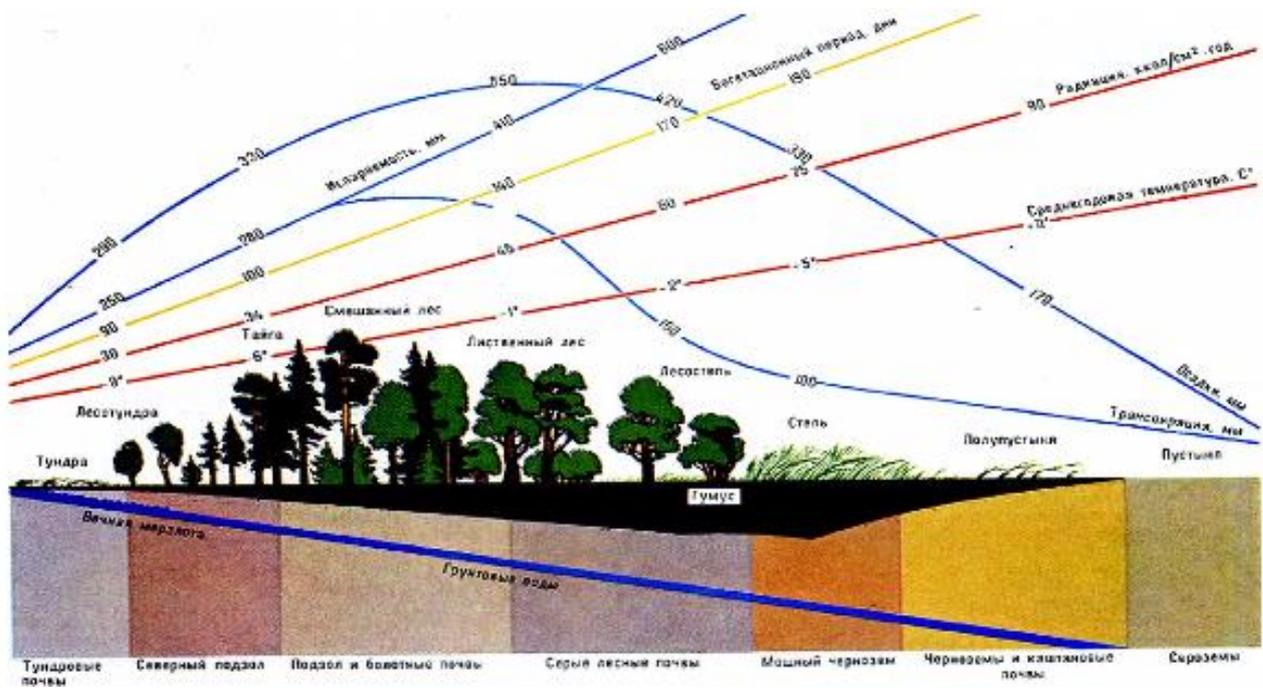


Рис. 3. Связь водопотребления растений с почвенно-климатическими факторами

Водопроницаемость лесных почв (за исключением песков) выше, чем полевых. В лесных почвах этому способствуют относительно хорошая структурность, более рыхлое сложение, ходы корней и роющих животных, лесная подстилка.

Фильтрацией называется движение свободно-гравитационной воды в грунтах в различных направлениях под воздействием гидравлического градиента

(уклона, равного потере напора на пути движения) напора. Коэффициентом фильтрации принято считать скорость фильтрации при гидравлическом градиенте, равном единице. При этом скорость фильтрации ( $V$ ) прямо пропорциональна гидравлическому градиенту ( $J$ ):  $v = k_f * i$ .

Зная скорость фильтрации, нетрудно дать определение коэффициента фильтрации:  $k_f$  (коэффициент фильтрации) – это скорость фильтрации при  $i = 1$  (см/сек; м/сут). Коэффициент фильтрации для различных грунтов имеет значительный диапазон изменений, так, средние значения  $k_f$  для песков и глин может отличаться на несколько порядков:  $k_{ф.песок} = n * 10^{-2}$  см/сек,  $k_{ф.глина} = n * 10^{-8}$  см/сек.

Вода проникает в почву с поверхности под воздействием силы тяжести по крупным порам, параллельно рассасываясь в стороны под влиянием капиллярных явлений. Процесс восприятия воды сухой или слабо увлажнённой почвой называется впитыванием воды и характеризуется коэффициентом впитывания.

### **ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ**

Для разработки симуляции наводнений были выбраны платформа Unity3d и язык программирования C#. Разработанная программа состоит из двух модулей: программной оболочки, предоставляющей удобный интерфейс пользователю, и программной модели, содержащей данные и методы работы. С одной стороны, без этих двух составляющих работа с программой не возможна, с другой стороны, любую из них при необходимости можно легко обновить или заменить. Опишем основные классы в программной модели.

RainController – отвечает за основные параметры симуляции (время осадков, интенсивность, скорость впитывания), на основе которых регулирует визуальное отображение выпадения осадков, уровня воды. Также в нем существует два типа настроек: пользовательские (внешние) и программные (внутренние). Пользовательские настройки отображены в меню настроек и регулируются непосредственно в процессе работы симулятора. Внутренние (множители внешних параметров, минимальный и максимальный пороги уровня воды, минимальный и максимальный уровни воды в сантиметрах и т. д.) регулируются в редакторе. Там же присутствует опция включения и выключения осадков для определения типа наводнения (осадки или паводок). Любые внутренние настройки, при необходимости, будут выведены в пользовательское подменю в следующих версиях программы.

---

UIController – хранит набор элементов интерфейса, а также отображает сравнение скорости впитывания влаги разной почвой. Интерфейс подключается библиотекой UnityEngine.UI.

CameraMove – отвечает за управление камерой. За основу взят интерфейс системы ввода от Unity – Input. Скрипт адаптирован под сенсорное управление, где таким же образом ловятся позиции одного (если вращать камеру) или двух касаний (для приближения/отдаления). В режиме редактора отображены детальные настройки (скорость, плавность, пороги углов поворота камеры, пороги приближения и удаления камеры).

Взаимодействие пользователя с системой осуществляется в диалоговом режиме. Основным связующим элементом разрабатываемой программы является система меню. При выборе настроек пользователь попадает в подменю, в котором определены регуляторы: времени за секунду, интенсивность осадков, всего времени. Настройки можно регулировать как до, так и во время показа наводнения. Настройки можно сохранить в любой момент, и при запуске программы они автоматически загружаются.

Программная оболочка является ответственной за управление и отображение информации, а также представление её в удобном для пользователя виде. Благодаря графическому интерфейсу обучиться работе с программой не представляет особых усилий, а настройка программы в виде регуляторов обеспечивает интуитивно-понятное функциональное объяснение их назначения.

### **ТЕСТИРОВАНИЕ НА ЗОННЫХ МОДЕЛЯХ**

В качестве тестовых зонных моделей были выбраны две локации с разными причинами возникновения наводнения: деревня Репатово, Чекмагушевский район; Курганская область, г. Курган.

В деревне Репатово в 2015 году из-за обильных осадков произошел потоп. Наводнение началось 4 июня. Уровень воды поднялся местами до 1,82 метра. Пострадали сельские угодья, техника. Пострадавших нет (см. рис. 4). В деревне Репатово преобладают 2 типа почв: чернозем и почвы речных пойм. Чернозём обладает хорошей впитываемостью, почвы речных пойм – меньшей впитываемостью (см. рис. 5).

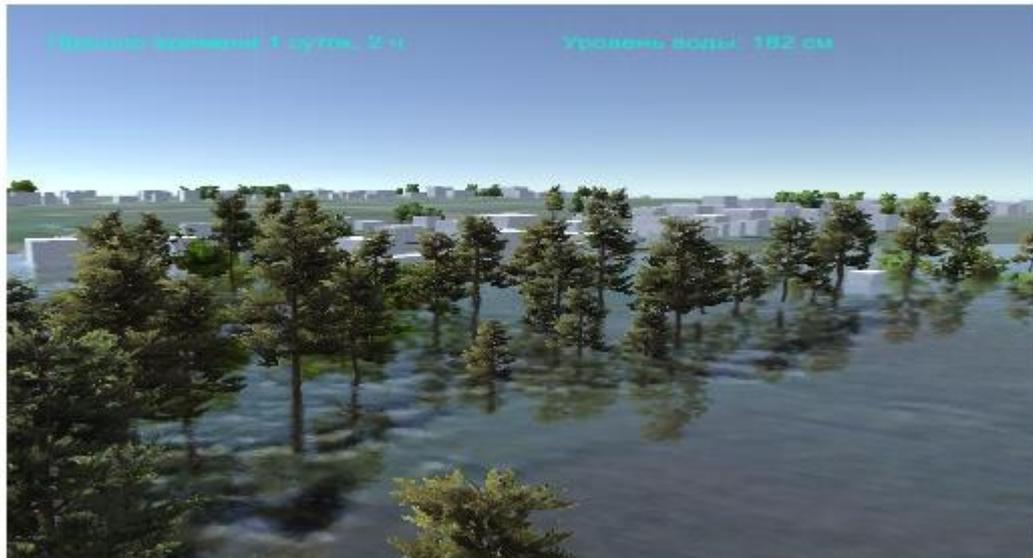


Рис. 4. Моделирование наводнения в Репатово

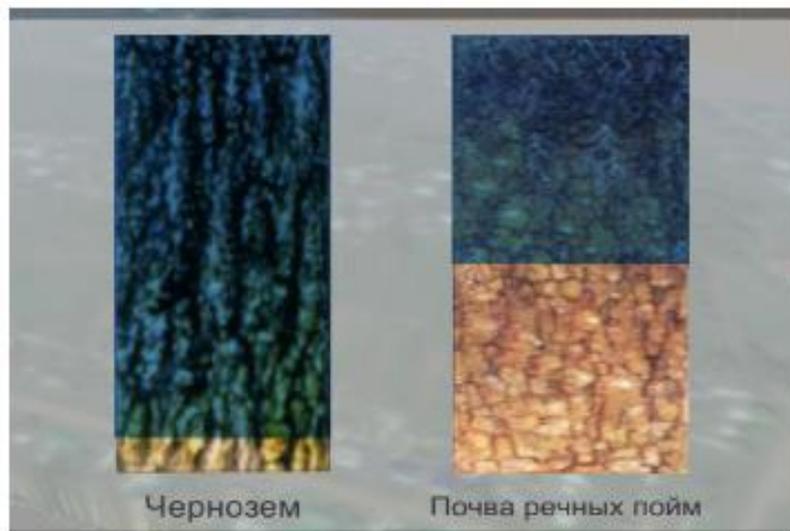


Рис. 5. Типы почв в Репатово

В 2015 году в Курганской области был наисильнейший потоп за последние 15 лет. Причинами стали весенние паводки, добавился также прорыв плотины, которую не укрепили до паводков. Были попытки укрепить дамбу посредством техники после прорыва, но результаты оказались безуспешными. В период с 23 по 30 апреля вода в реке Тобол на территории города поднялась до максимального уровня.

Рассмотрим хронику наводнения в городе Курган (рис. 6). Уровень воды достиг максимальной отметки 806 см, только 1 мая вода пошла на спад.



Рис. 6. Диаграмма хроники наводнения в городе Курган

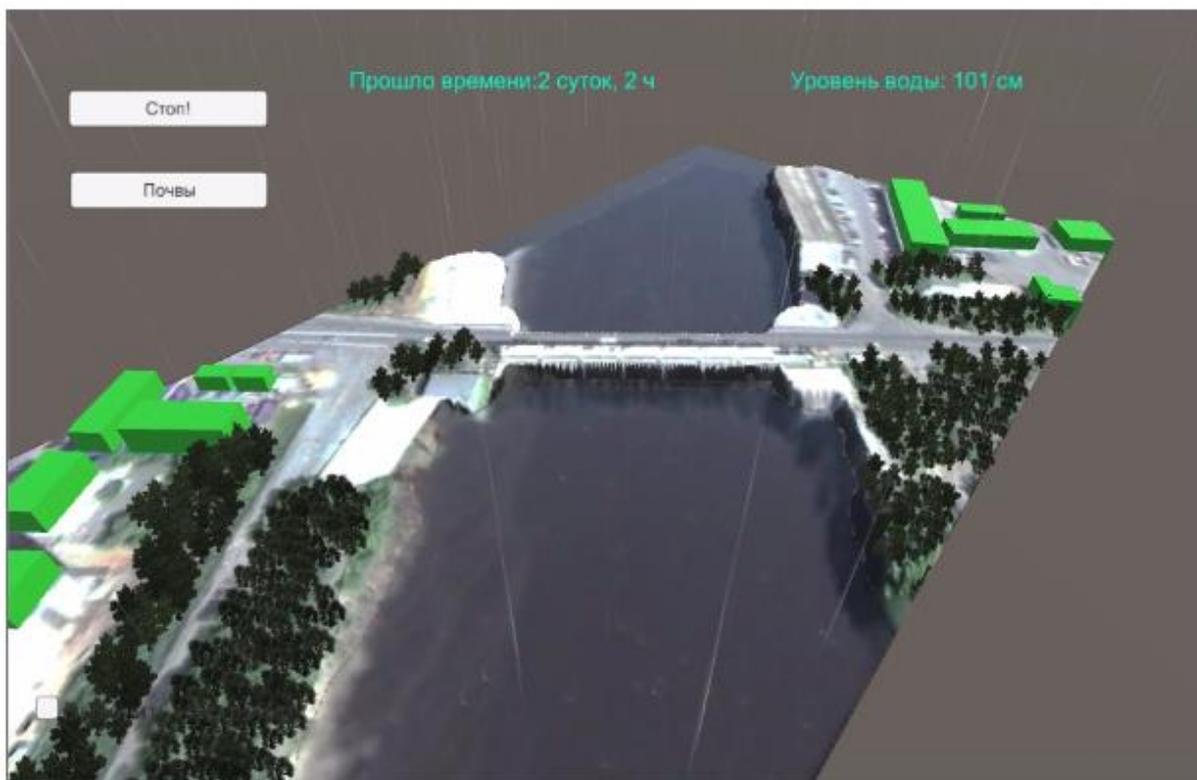


Рис. 7. Визуализация моделирования наводнения в Кургане

Почвы: наиболее распространены выщелоченные и обыкновенные чернозёмы. Местами существенную роль в почвенном покрове играют солонцы и чернозёмно-луговые почвы, встречаются лугово-чернозёмные и болотные почвы. В городе Курган преобладают боровые пески (рис. 8).

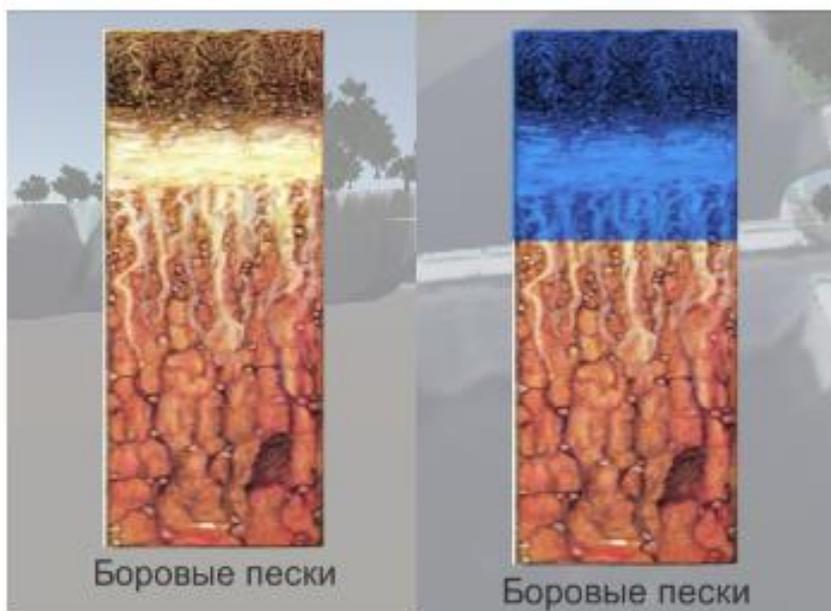


Рис. 8. Типы почв в городе Курган

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предсказание наводнений и их динамики – важная современная проблема, и мы сделали шаг в её решении. Среди достоинств разработанного симуляционного программного обеспечения отметим его гибкость и высокую конфигурируемость, позволяющую легко расширять спектр поддерживаемых ландшафтов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. TUFLOW. URL: <http://www.tuflow.com/>.
2. Защита от наводнений. URL: <https://ru.grundfos.com/industries-solutions/applications/flood-control.html>.
3. Методика моделирования волны прорыва для предотвращения возможного ущерба, вызванного затоплением земель. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10831>.
4. Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.»: Сборник научных трудов. Т. 2. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С 164.
5. Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. С.-Пб.: Гидрометеиздат, 2014. С. 203.
6. Ресурсы поверхностных вод России. Т. 17: Лено-Инди́гирский район. С.-Пб.: Гидрометеиздат, 2012. С. 651.

7. Зоны катастрофического затопления. URL: [http://libraryno.ru/6-5-2-zony-katastroficheskogo-zatopleniyasecur\\_in\\_chrez\\_sit/](http://libraryno.ru/6-5-2-zony-katastroficheskogo-zatopleniyasecur_in_chrez_sit/).
  8. Коэффициент фильтрации. URL: <http://lektsii.com/1-91376.html/>.
  9. Реферат: Гидродинамические аварии. URL: <https://domashke.com/referati/referaty-po-bezopasnostizhiznedeyatelnosti/referat-gidrodinamicheskie-avarii>.
  10. Водопроницаемость почв. URL: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/09/3/070309.htm>.
- 

## **DEVELOPMENT OF SIMULATIONAL SOFTWARE OF DESTRUCTION BY THE FLOODS WITH MULTIFACTORS**

**L. Rimova<sup>1</sup>, V. Kugurakova<sup>2</sup>, R. Yakushev<sup>3</sup>**

*Kazan (Volga Region) Federal University*

<sup>1</sup>laysanitis@gmail.com; <sup>2</sup>vlada.kugurakova@gmail.com; <sup>3</sup>sultanich@rambler.ru

### **Abstract**

Floods were and are continuing to be a great threat to human properties, farms, agriculture, and households. To reduce the flood-related damage, we have to be able to reliably predict the flood dynamics, and the best way to do this is a computer simulation. Such simulational software must take into consideration many factors, such as the landscape qualities, human infrastructure, protective buildings, and more. In this paper, we try to systematize all those factors and create the software that will adhere to those requirements.

**Keywords:** *3D, virtual reality, virtual simulation, flood, floodwaters*

### **REFERENCES**

1. TUFLOW. URL: <http://www.tuflow.com/>.
2. Flood control. URL: <https://ru.grundfos.com/industries-solutions/applications/flood-control.html>.
3. Methodology of wave breakthrough simulation for prevention of flood damage. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10831>.

4. Scientific proofs of the implementation of «Water-related strategies of Russian Federation till the year 2020» – collection of scientific papers, Karel science centre, 2015. P. 164.
5. *Buzin V.* Ice congestions and ice-related river floods. Gidrometeoizdat, 2014. 203 p.
6. Surface water resources of Russia. T. 17: Leno-Indigirskiy region. Gidrometeoizdat, 2012. 651 p.
7. Catastrophical floods zones. URL: [http://libraryno.ru/6-5-2-zony-katastroficheskogo-zatopleniya-secur\\_in\\_chrez\\_sit/](http://libraryno.ru/6-5-2-zony-katastroficheskogo-zatopleniya-secur_in_chrez_sit/).
8. Filtration coefficient. URL: <http://lektsii.com/1-91376.html>.
9. Essay: Hydrodynamical accidents and breaks. URL: <https://domashke.com/referati/referaty-po-bezopasnosti-zhiznedeyatelnosti/referat-gidrodinamicheskie-avarii>.
10. Soil permeability. URL: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/09/3/070309.htm>.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**РИМОВА Ляйсан Зиннуровна** – выпускница 2016 года Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

**Laysan Zinnurovna RIMOVA**, bachelor, graduate in 2016 of Higher School of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University.

email: laysanitis@gmail.com



**КУГУРАКОВА Влада Владимировна** – старший преподаватель Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета, руководитель Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине».

**Vlada Vladimirovna KUGURAKOVA**, senior Lecturer of Higher School of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University, Head of Laboratory “Virtual and simulational technologies in biomedicine”.

email: vlada.kugurakova@gmail.com



**ЯКУШЕВ Ринат Султанович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической механики Казанского (Приволжского) федерального университета.

**Rinat Sultanovich YAKUSHEV**, associate professor of Department of Theoretical Mechanics of Kazan Federal University.

email: sultanich@rambler.ru

*Материал поступил в редакцию 25 февраля 2016 года*