



*Приета: 18.03.2016 г.
Преработена: 11.04.2016 г.
Одобрена: 22.04.2016 г.*

МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛИРАНЕ НА ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ С ЦЕЛ – УПРАВЛЕНИЕ ПРИ КРИЗИ

Д. Савова¹

Ключови думи: компютърно моделиране, компютърна симулация, бедствие, AR Sandbox

РЕЗЮМЕ

Моделирането и симулирането на природните бедствия са ключови методи, в днешно време, за справянето с бедствени ситуации. В тази статия са разгледани както симулации в компютърна среда, така и в лабораторни условия (в реална среда), с което се цели да се докаже необходимостта от моделиране и симулация за изследване и анализиране на тези явления и намаляване на катастрофалните последиците от тях. Показано е в стъпки създаването на цифров модел – ключова стъпка от интегрирането на симулационни модели в геоинформационна среда. Представени са етапите на реализиране на симулационен модел в лабораторни условия – AR Sandbox, който онагледява концепциите за релеф и обяснява практически процесите, настъпващи по време на наводнение.

1. Въведение

Бедствията се случват всеки ден някъде по света. Независимо от техния произход – природни или антропогенни (породени от човека), те често нанасят големи щети на обществото. Като основна причина за зачестилите природни кризи се счита промяната на климата, чиито последиствия се усилват с прогресивната урбанизация. Бързо развиващите се технологии и наука днес са мощни инструменти, които спомагат за предвиждането им и за предотвратяването на последиствията от тях. Въпреки това, според

¹ Деница Савова, инж. докторант, кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: savovadenitsa@gmail.com

Междуправителствения панел за климатични промени, мерките за справяне с природните бедствия тепърва ще се нуждаят от още много подобрения в бъдеще [1, стр. 582].

Техническият доклад на Европейската агенция по околната среда представя подробна информация за природните бедствия, както и за последствията от тях за периода 1998 – 2009 г., като освен статистиката за тяхната поява, дава препоръки, политики и бъдещи насоки за справяне с тях. Според документа, броят на загиналите за изследвания период надхвърля 100 000 души, а на засегнатите и оцетените – над 11 млн. души [2]. Дългогодишните недостатъчни практики на подпомагане на пострадалите след кризата доказват, че усилията трябва да бъдат насочени към разработването на работещи практики в етапите на предварителните мерки и подготвеността преди настъпването на събитието.

Практиките и продуктите, които картографията и геоинформатиката предоставят при управлението на кризи, породени от природни бедствия, са успешно прилагани във всички етапи и са станали неделима част от модерния начин на справяне с тях. Маринова [3] посочва използването на картографията в управлението при кризи: преди катастрофалното събитие – за оценка и подготовка, по време на събитието – за защита на населението и след него – за възстановяване от последствията. Разнообразието, което картографските продукти представляват, ги прави незаменими инструменти в предварителната подготовка преди бедствието, при вземането на решения по време на спасителни операции, както и за оценка на щетите.

Моделирането и симулирането са важна част от съвременните процеси на изследване и анализиране на природните явления, особено когато става въпрос за природни бедствия. С развитието на технологиите компютърните симулации допълват и разширяват възможностите, които класическите картографски продукти дават на специалисти за справяне с разнообразни задачи.

2. Моделиране и симулиране на природни бедствия в компютърна среда

Компютърната среда позволява моделиране и симулиране на всякакви обекти и процеси от заобикалящия ни свят. Това е причина тези методи да намират приложение и да биват развивани в различни сфери в науката – биология, физика, астрофизика, климатология, икономика, социология, инженерство и др. Играят роля и в управлението на кризи и справянето с бедствени ситуации, като незаменим подход за прогнозиране на поведението на природни бедствия, предоставяйки данни, необходими за дейности като евакуация, спасителни операции, вземане на предварителни мерки и др.

Моделиране и симулиране на наводнения

Опустошаващата сила на наводненията води често до огромни материални щети и човешки жертви. Симулирането на поведението на това явление дава информация за бъдещите поражения и залети територии. Често като краен продукт от симулационните модели се получават карти на риска, които подпомагат вземането на решения при предварително планиране на земеползване на територии. Симулационните модели на наводненията са основа за съставяне на евакуационни планове и планове за действие по време на наводнение, тъй като освен степен на заливане, те дават количествени характеристики като скорост на заливане, дълбочина на заливането, височина на приливната вълна, бързина на оттичане на водата и др.

Моделирането и симулацията в компютърна среда доказано са най-успешно приложими в прогнозирането на наводнения. Y. B. Liu et al. [4] извършват симулации за три сценария с цел да докажат, че в зависимост от начина на ползване на земята отводняването на територията се различава. По-късно Y. B. Liu и F. D. Smedt [5] прилагат хидроложкия модел WetSpa в ГИС среда, прогнозирайки последствията от екстремни заливания. Други примери за успешното прилагане на симулационни модели при изследването на наводнения са реализираните SHE и TOPMODEL [6, 7], базирани на основата на цифров модел на релефа (DEM), както и CASC2D [8] и HYDROTEL [9], получени с помощта на данни от дистанционни методи. Всички методи за моделиране на този вид явление работят с променливи, определящи характера на симулираното явление. Едни от най-важните фактори за развитието на наводнение са характеристиките на релефа на заливаната територия. Към тях се прибавят вид на почвата и геоложки строеж, количество валежи (или височина на приливната вълна при скъсване на язовирна стена), земеползване и др. За създаването на изчерпателни и точни симулационни модели често се използват исторически данни, както и климатологични данни в реално време, които помагат изследването на поведението на бедственото събитие и неговото развитие [10].

Моделиране и симулиране на поведението на горски пожар

Средиземноморието е част от най-често засяганите от горски пожари територии в Европа, а близостта на България до него, както и фактът, че 30% от територията ѝ е заета от гори, са предпоставки за повишен риск и на нашата територия. Освен климатичните особености на региона като високи температури, суша, ниска относителна влажност и ветрове, предпоставка тези региони често да страдат от това бедствие, е и намесата на човека. Независимо че горските пожари се считат за природно бедствие, те често са резултат от човешка волна или неволна грешка. Превенцията и системите за ранно откриване и оповестяване са голяма необходимост, тъй като тежките последици от пожарите водят до нарушение на процесите в екосистемите и причиняват унищожение на растителността и почвена ерозия. Отговорното управление на горските територии изисква работещи системи за ранно предупреждение, пространствени анализи и планиране.

В „Националната програма за защита при бедствия 2014 – 2018 г.“ част от мерките включват изследване, анализ и оценка и картографиране на пожарния риск на територията на Р България, както и организиране на взаимодействието между структурите, отговарящи за горските територии и противопожарната безопасност с цел превенция от пожари. В настоящия момент на територията на страната не съществува единна база данни за управление на риска от горски пожари, което затруднява комуникацията между отговарящите институции и вземането на решения в кризисни ситуации. Не съществуват и работещи системи за ранно предупреждение в борбата с горските пожари.

Оценката на риска и заплахата от горски пожар са важна част от процесите, свързани със защитата от подобни бедствия. Важен етап от оценката на риска е определянето на факторите, които могат да станат причина за възпламеняване на огън и неговото разпространение. Въпреки, че има общовалидни променливи, специфичните географски особености на всяка една територия също могат да определят техния вид и брой. Прилагането им в модерната картография чрез моделиране на риска или моделиране на явление, отваря възможностите за производство на широк спектър от картографски продукти, които могат да бъдат използвани преди, по време и след събитието. Chuviesco et al. [11] изследват зависимостите между различните рискови фактори и предлагат метод, който ги обединява в един индекс на опасност, докато Krisp et al. [12, стр. 1283 – 1297] се фокусират върху методи, свързани с подобряването на спасителните действия в

градска среда, анализирайки честотата на инцидентите и гъстотата на населението. Отново Chuvieso et al. [13] добавят още една променлива като изследват връзката между човешкия фактор и запалването на горски пожари. Друга подобна релация се търси и в работата на Smith [14, стр. 1333 – 1357], който изчислява зависимостта между близостта на населеното място и горските територии, които страдат от това бедствие.

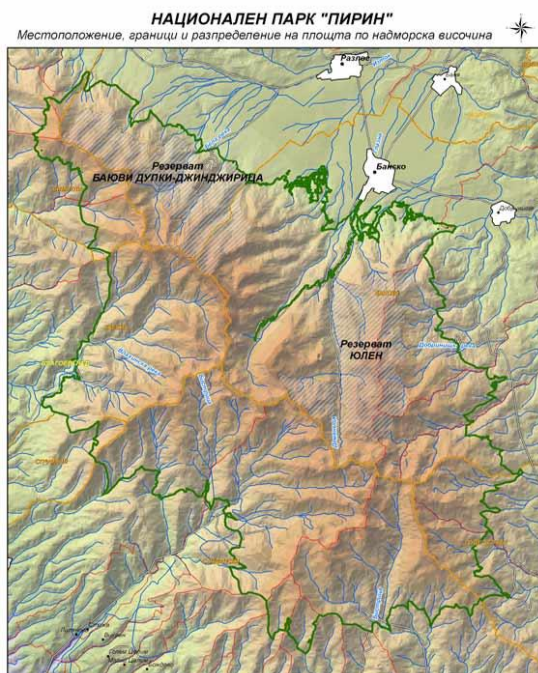
Моделирането на риска се базира на различни методи за анализиране на пространственото разпространение на риска от пожар. Всички методи се характеризират с интегриране на няколко променливи в един или няколко индекса на риска. Тяхната интерполация бива изобразявана на различни картографски продукти.

Един от най-ефективните методи за справяне с горски пожари е базиран на анализирането на разпространението на горските пожари в зависимост от различни климатични показатели. Само по себе си разпространението на пожари се изследва от десетилетия, като съществуват работещи модели на разпространение, които описват поведението на пожар в зависимост от наличните обстоятелства – например горими материали, вятър, наклон, изложение, влажност на почвата, растителност и др. Моделите на Rothermel [15] и Albin [16] се считат за класически и все още са предпочитани за анализиране и изчисления. Върху тяхната теория е изграден и по-съвременен вариант – FARSITE [16]. Въпреки че съществуват такива модели, тяхното имплементиране в компютърна ГИС среда все още е задача, върху която се работи. Интегрирането на теоретичните разработки с методите на геоинформацията значително подобрява процесите на управление преди, по време и след настъпването на бедствието. С него става възможно провеждането на симулации, необходими за предвиждането на скоростта и посоката на разпространение на огъня в зависимост от въведените променливи. Чрез интегрираните в ГИС симулационни модели се подпомага вземането на решения по време на спасителни и евакуационни операции, както при планиране на погасителни действия.

Имплементиране на модел на Ротермел в средата на ГИС е направено за два района в Сицилия [18]. То се състои в създаване на GRID слоеве, всеки един от които представлява променлива от уравнението на Rothermel. Резултатът отново е GRID слой, като всяка негова клетка представя потенциалната скорост на разпространение на фронта на пожара. На тази база са направени и други анализи, резултатите от които са установяване на най-вероятния път на огъня и времето за разпространение. Друго изследване [19] е фокусирано върху моделирането на променливи, свързани с идентифицирането на потенциални места на възпламеняване.

Моделиране и симулиране на други бедствени явления

Както беше вече споменато, най-популярното приложение на симулациите в компютърна среда относно управлението при бедствени ситуации, е в случаите на наводнения и пожари. Макар по-рядко и по-трудно, други фатални природни бедствия също се моделират в ГИС. Съществуват практики на симулиране на свлачища, цунами, земетресения и др. Начинът на събиране на данни за тях е описан от Pashova et al. [20]. Въпреки непредвидимостта на случаите на земетресения, тези явления също подлежат на математическо моделиране. Примери за случаите на такива явления са симулирането на сеизмичен риск, фокусиран основно върху изследването на евентуални повреди по мрежа от тръбопроводи в Катания [21], както и създаването на интеграционна симулационна система за земетресения в градска среда за град в Китай [22, стр. 311 – 316].



Фиг. 1. Граници и обхват на Национален парк „Пирин“

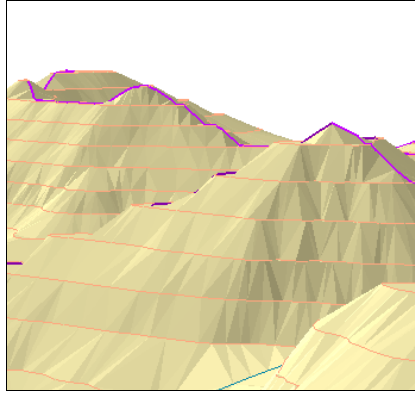
За да бъде извършено математическо моделиране на явление върху територия и последваща симулация е необходима подробна информация за модела на релефа на територията. Поведението на природно бедствие е в силна зависимост от характеристиките на релефа, затова важен етап от моделирането, е създаване на цифров модел на релефа на обекта на изследване. Пример за създаването на такъв модел е разгледан по-долу.

Създаване на 3D модел на обекта на изследване

За обект на изследване е избран Национален парк „Пирин“ (фиг. 1). Той е с подходящ планински релеф, върху който да се извършват изследвания, свързани с моделиране на природни бедствия. Националният парк „Пирин“ е включен в списъка на ЮНЕСКО и е с общонационално значение. Върху територията му, 60%, която е заета с горска растителност, се срещат редки и ендемични растителни и животински видове, намерили мястото си сред значими местообитания. Горските пожари са значителна заплаха за екосистемите на тази територия с консервационно значение, затова е необходимо да бъдат разработени методи за справяне с евентуални бедствени събития.

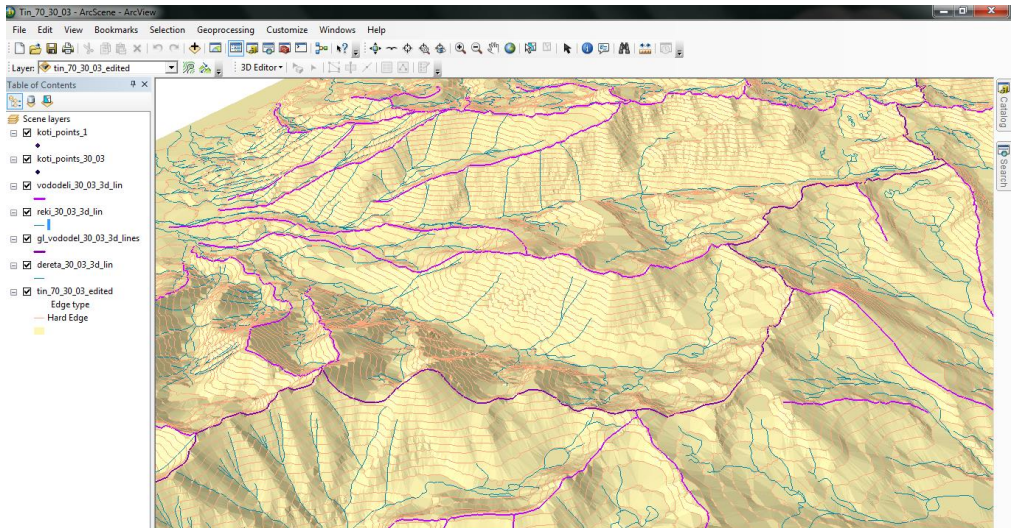
Имплементирането на модели на разпространение на пожарите е процес, преминаващ през много етапи. Първоначален етап от тази задача е създаването на 3D модел на релефа на изследваната територия. Моделът на релефа е ключов елемент при изследването на пространственото разпространение на природните бедствия, тъй като именно характеристиките на релефа определят основна част от променливите, описани по-горе, необходими за оценка на риска и моделирането на бедствието. Обогатен с други данни, като сгради и съоръжения, вид на растителността, характеристики на дървесните видове (възраст, здравословно състояние и т.н.), почвена покривка, климатични условия и др.,

моделът на релефа се превръща в подробен модел на територията, чрез който могат да се изчисляват в ГИС среда, както рисков индекси, така и характеристики на разпространението на огъня. Този метод осигурява решението на разнообразни задачи чрез симулации в компютърна среда, свързани с управлението преди, по време и след бедственото събитие. Няколко примера за 3D картографиране за нуждите на управление при кризи са описани от Vandrova T. et al. [23, стр. 245 – 250].



Фиг. 2. Неестествени заравнявания на релефа

Първоначален етап при създаването на модел на релефа в ГИС среда е подборът на данни и тяхната предварителна обработка. За създаването на модела на релефа на НП „Пирин“ са набавени следните данни: хоризонтални през 5 m, върхове с надморски височини, хидрография: реки, дерета, езера и др. Първоначално е изграден само от хоризонтални, но се наблюдават неестествени заравнявания (фиг. 2) след последния хоризонтал – с най-висока стойност. За да бъде отстранен дефектът, получен въпреки достатъчното сечение на релефа (5 m), е взето решение, към данните да се добавят и върхове с надморски височини, както и структурни линии. Резултат от дейността е изграден 3D модел на изследваната територия в средата на геоинформационните системи (фиг. 3).



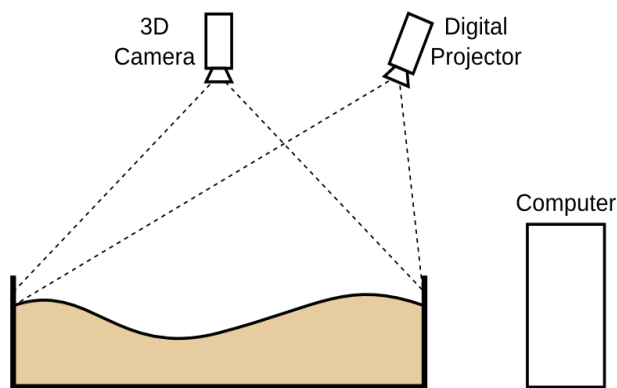
Фиг. 3. Полученият модел на релефа на НП „Пирин“

Полученият модел е ключов елемент и основа за последващата работа по конструиране на работещ цикъл от последователни пространствени анализи и изчисления за прилагането на модела на Rothermel за разпространение на горски пожари с помощта на софтуерен компонент – ModelBuilder за ArcGIS [24]. За подпомагане на процесите ще бъде използван език за програмиране – Python [25].

3. Симулации в реална среда

Симулациите в компютърна среда дават подробна информация за начина, по който бедственото събитие би настъпило, както и количествени и качествени характеристики на евентуалните последици от него. За разлика от тяхната изчерпателност, симулациите в реална среда имат за цел да представят явлението по ясен и разбираем начин и да осигурят практическо тестване на умалени модели на реални обекти. Симулирането в реална среда дава възможност, чрез нагледни постановки, да бъдат обяснени последиците и причините за настъпилото явление. Пример за нагледни симулационни модели са масите за земетръс. Освен практическата си полза за изследване на издръжливостта на конструкции, те могат да бъдат използвани за показване на опустошителната сила на бедствието на малки деца и ученици [26, стр. 225 – 234]. Друг пример за симулации в лабораторни условия са симулаторите за цунамита.

Подходящ инструмент за онагледяването на наводнения е Пясъчникът с усилена реалност или AR Sandbox (фиг. 4). Това е система, която може да бъде използвана за симулации на природни бедствия в реално време и лабораторни условия. Създаден от Оливър Крейлос и екипа му към университета в Калифорния, САЩ – UC Davis [27], AR Sandbox има за цел да съвмести **реален** пясъчник с **виртуална** топография. Това се осъществява с помощта на затворена система от сензорна камера (1), проектор (2) и компютър с мощен софтуер за симулация и визуализация (3).



Фиг. 4. Архитектура на системата AR Sandbox

Системата дава възможност на потребителите да създават топографски модели чрез моделиране на пясък, върху който се полага, в реално време, хипсометрично оцветяване и изохипси. Основно ѝ предимство е, че топографските модели биват сканирани в реално време, т.е. с промяната на релефните форми в пясъчника, картата на релефа, прожектирана върху тях, също се променя.

Пясъчникът с усилена реалност онагледява процесите по време на природно бедствие, като най-нагледно симулира явлението наводнение. Това е реалност, тъй като

софтуерът осигурява и възможност за симулация на наводняване на терена като следствие от валеж на дъжд. Интензивността на дъжда може да бъде контролирана, което подпомага разглеждането на различни сценарии. За да бъде създаден дъжд, е необходимо само задържане на ръка над пясъчника, а стичането на водния отток се изчислява и проектира в зависимост от формите и наклона на релефа.

Интересът към практическите симулационни модели и нуждата от онагледяване на процесите по време на бедствие, както за студенти, така и за по-малки ученици, е причината за създаването на AR Sandbox в УАСГ, София.

Реализирането на AR Sandbox в Лаборатория по картография към УАСГ

Реализирането на системата (фиг. 5) премина през няколко етапа – изработване на конструкцията, софтуерното реализиране, калибриране и стартиране на симулацията.

Изработка на стойка и дървен сандък



Фиг. 5. Конструираната AR Sandbox система в УАСГ

Изработването на стойката и сандъка, необходими за функционирането на системата, е осъществено като за прототип е използвана AR Sandbox, създадена от Оливър Крейлос. Тъй като конструкцията не е универсална, от изключителна важност е спазването на конкретните размери на оригинала. Сандъкът е изработен с размери $0,2 \text{ m}^3$ и в него е поставен 175 kg пясък. Използва се фин кварцов пясък с бял цвят, за достигане на висока степен на отразителност, без химични примеси, за да бъде безопасен за студентите и учениците, които ще бъдат обучавани по проекти, свързани с тематиката.

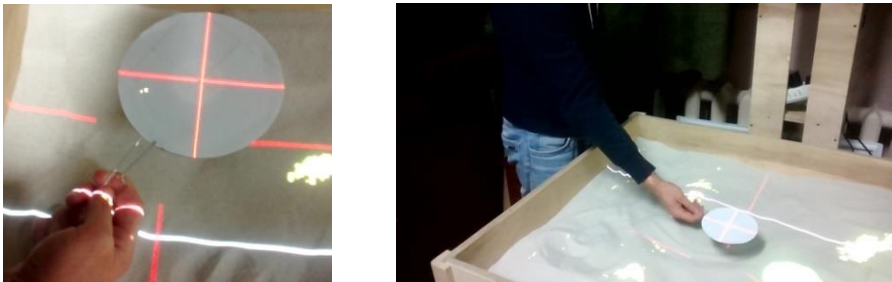
Софтуерно реализиране

За осъществяването на проекта е използван доставеният по проект с договор Д-77/15 г. към ЦНИП, УАСГ, компютър, върху който е инсталирана безплатната операционна система Linux Mint. Софтуерът, необходим за стартирането на системата, е с отворен код. Това обяснява множеството трудности, които са срещнати по време на този етап. Софтуерът, създаден от екипа на Крейлос, представлява Vgui VR инструментариум,

който, управляван чрез команди, осъществява връзката между 3D сензорната камера, проектора и софтуера, необходими за изчисляването на проектираните върху пясъка изолинии и хипсометрично оцветяване. Трудностите са поетапно отстранявани до достигане на пълната софтуерна инсталация на системата.

Калибриране на системата

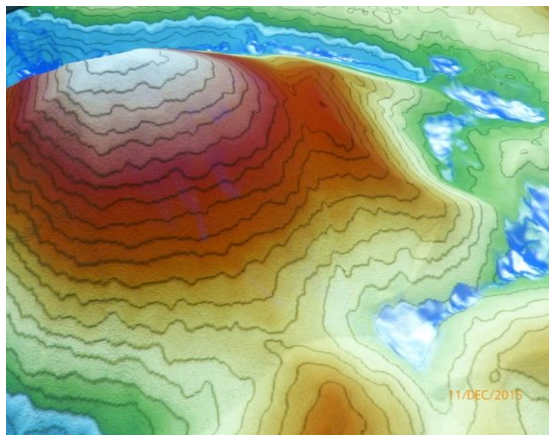
За да бъде възможно коректното проектиране на изолиниите и хипсометричното оцветяване спрямо релефните форми в пясъчника, е направено калибриране (фиг. 6). Калибрирането е задължителен етап за стартирането на изрядно работеща система. Изразява се в регистриране на центъра на бял кръг, който се разполага в 12 позиции в пясъчника. Кръгът трябва да бъде регистриран задължително във висока точка – над пясъка, и в ниска точка – на дъното на пясъчника. Процесът на калибриране може да продължи до постигане на необходимата точност. В случая точността, която бе изчислена от софтуера след този етап, е 1,76 mm.



Фиг. 6. Процес на калибриране на системата AR Sandbox

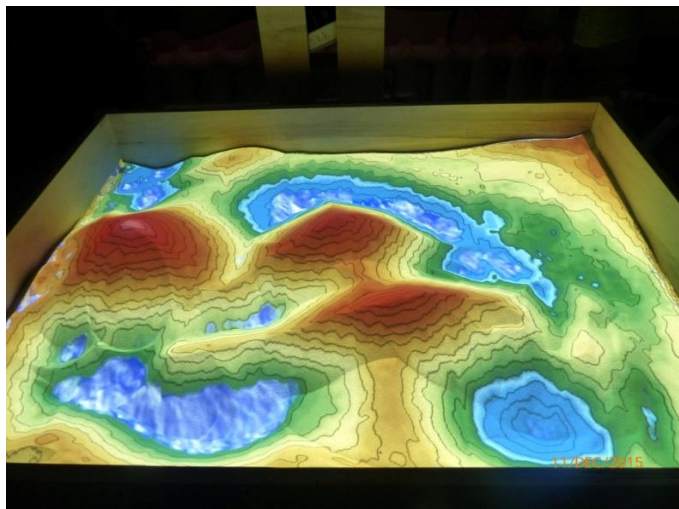
Практически ползи и резултати

AR Sandbox визуализира концепции на географията, геологията и хидрогеологията (фиг. 7), като спомага за достъпно дефиниране на понятия като хоризонтали, вододели, водосливи, водосбори и др., необходими при разчитането на топографски карти.



Фиг. 7. Визуализация на релеф чрез изградената система AR Sandbox, съвместяващ реален пясъчник с виртуална топография

AR Sandbox успешно може да бъде използван при управлението при бедствия и кризи. Характеристиките на системата позволяват разиграване на сценарии за симулации на природни бедствия: изследвания на заливни територии при наводнения (фиг. 8), пропуквания на язовирни стени, разпространение на горски пожари и др.



Фиг. 8. Симулиране на наводнение. Залетите части са оцветени в синьо и имитират вода

Системата може да бъде използвана и при обучение на студенти и ученици, относно разбирането на изобразяване на различни релефни форми чрез хоризонтални и хипсометрично оцветяване. Проектът може да бъде допълнително разработен за нуждите на симулации за управление при кризи от студенти, специализиращи Картография. При симулиране на горски пожар могат да се определят засегнатите територии при трудно достъпен терен и проектиране на просеки за неговото ограничаване.

4. Заключение и бъдеща работа

Управлението на кризи, резултат от бедствия, е тежка задача с висока степен на отговорност към обществото. Това е причината науката да търси нови технологии и методи за облекчаване на вземането на решения преди, по време и след настъпило бедствие. Симулациите са част от процесите, свързани с изследването и прогнозирането на поведението на подобни явления. Въпреки непредвидимостта на природните бедствия, симулационните модели са начин за намаляване на щетите и жертвите. Компютърните симулации са неделима част от работата на експертите, вземащи решения на базата на количествени изчисления, докато симулациите в реална среда служат, както за практически изследвания, така и за подпомагането на обучението на хора от различни възрасти за правилни действия по време на бедствието.

В програмата за бъдеща работа се предвижда задълбочаване на проблема с моделирането на бедствия в ГИС среда с прилагане на теоретичните модели чрез моделиране и програмиране в ГИС среда, с цел подпомагане на разумно и функционално управление на горските територии без случаи на горски пожари. Предвижда се разширяване на работата с конструираната система AR Sandbox и съставяне на обучителни и занимателни дейности за студенти и деца.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор БН-77/2015 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ. Специални благодарности за оказаната подкрепа при разработването на системата AR Sandbox на проф. Фелипе Де Майер и д-р Корнелиус Стал от Universiteit Gent, както и на нейния създател Оливър Крейлос от Университета UC Davis.

ЛИТЕРАТУРА

1. IPCC, Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G. -K., Allen, S. K., Tignor, M., Midgley, P. M. (eds.). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012.
2. EEA, Technical Report No 13/2010: Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe. An overview of the last decade, ISSN 1725-2237, EU, 2010.
3. Marinova, S. Cross-Border Maps and Disaster Management. 25th International Cartographic Conference, 4 – 8 July 2011, Paris, France, USB Proceedings. Publisher: The French Committee of Cartography, ISBN: 978-1-907075-05-6, 2011.
4. Liu, Y. B., De Smedt, F., Hoffmann, L., Pfister, L. Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and Modeling approach. //Environmental Modeling and Assessment – 9, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2004.
5. Liu, Y. B., De Smedt, F. Flood Modeling for Complex Terrain Using GIS and Remote Sensed Information. *Water Resources Management* (2005) 19: 605–624 DOI: 10.1007/s11269-005-6808-x C, Springer, 2005.
6. Ewen, J., Parkin, G., O'Connell, P. E. Shetran: Distributed river basin flow and transport modeling system. //J. Hydrol. Eng. 5, 2000.
7. Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., Planchon, O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. //Hydrol. Process. 5, 1991.
8. Fortin, J. P., Turcotte, R., Massicotte, S., Moussa, R., Fitzback, J., Villeneuve, J. P. A distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data, I: Description of the model. //J. Hydrol. Eng. 6, 2001.
9. Downer, C. W., Ogden, F. L., Martin, W., Harmon, R. S. Theory, development, and applicability of the surface water hydrological model CASC2D. //Hydrol. Process. 16, 2002.
10. Lienert, C., Kunz, M., Weingartner, R., Hurni, L. Monitoring and comparing: A cartographic Web Application for Real-time Visualization of Hydrological Data. *Geographic Information and Cartography for Risk and Crises Management*, M. Konecny, Zlatanova, S., Bandrova, T. (eds.), Springer, 2006.
11. Chuvieco, E., Justice, C. Relations Between Human Factors and Global Fire Activity. *Advances in Earth Observation of Global Change*, Chuvieco E., Li, J., Yang, X. (eds.), 2010.

12. *Krisp, J., Virrantaus, K., Jolma, A.* Using explorative Spatial Analyses to improve Fire and Rescue Services. *Geo-information for Disaster Management*, Oosterom P., Zlatanova S., Fendel E. (eds.), Springer, 2005.
13. *Chuvieco, E., Camia, A., Bianchini, G., Margaleff, T., Koutsias, N., Martinez, J.* Using Remote Sensing and GIS for Global Assessment of Fire Danger. ICC, Coruna, Spain, <http://www.cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/oral/TEMA29/Session%201/EMILIO%20CHUVIECO.pdf>, 2005.
14. *Smith, H. M.* The Relationship between Settlement Density and Informal Settlement Fires: Case Study of Imizamo Yethu, Hout Bay and Joe Slovo. Cape Town Metropolis, *Geo-information for Disaster Management*, Oosterom P., Zlatanova S., Fendel E. (eds.), Springer, 2005.
15. *Rothermel, R. C.* A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. General Technical Report INT-115, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972.
16. *Albini, F. A.* Estimating wildfire behavior and effects. General Technical Report INT-30. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT, 1976.
17. *Finney, M. A.* FARSITE: Fire Area Simulator Model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, 1998.
18. *Condorelli, A., Mussumeci, G.* GIS Procedure to Forecast and Manage Woodland Fires. *Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management, Towards Better Solutions*, M. Konecny, Zlatanova S., Bandrova T. (eds.), 2009.
19. *Kanga, S., Sharma, L., Pandey, P. C., Nathawat, M. S.* GIS Modelling Approach for Forest Fire Risk Assessment and Management. //International Journal of Advancement in Remote Sensing, GIS and Geography, ISSN 2321-835 IJARSGG (2014) Vol.2, No.1, 30-44 Research Article.
20. *Pashova, L., Kouteva-Guentcheva, M., Bandrova, T.* Review and Systematization of the Available Data for Earthquake Risk Mitigation in Bulgaria. Using GIS. From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World. FIG Working Week 17-21 May 2015, Sofia, http://www.fig.net/pub/fig2015/papers/ts03d/TS03D_pashova_kouteva-guentcheva_et_al_7807.pdf, 2015.
21. *Maugeri, M., Motta, E., Mussumeci, G., Raciti, E.* GIS Techniques in the Evaluation of Pipeline Networks Seismic Hazard. *Geographic Information and Cartography for Risk and Crises Management*, M. Konecny, Zlatanova S., Bandrova T. (eds.), Springer, 2006.
22. *Xu, F., Chen, X., Ren, A., Lu, X.* Earthquake Disaster Simulation for an Urban Area, with GIS, CAD, FEA, and VR Integration. *TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY*, ISSN 1007-0214 50/67, Volume 13, Number S1, October 2008.
23. *Bandrova, T., Zlatanova, S., Konecny, M.* Three-Dimensional Maps for Disaster Management, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, I-4, doi:10.5194/isprsannals-I-4-245-2012, <http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/I-4/245/2012/isprsannals-I-4-245-2012.pdf>, 2012.
24. *Allen, D. W.* Getting to Know ArcGIS ModelBuilder. ISBN: 1589482557, Esri Press, 2011.

25. Zandbergen, P. A. Python Scripting for ArcGIS. ISBN: 1589483715, Esri Press, 2013.

26. Bandrova, T., Kouteva, M., Pashova, L., Savova, D., Marinova, S. (2015) Conceptual Framework for Educational Disaster Centre “Save the Children Life”. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3/W3, 2015 ISPRS Geospatial Week 2015, 28 Sep – 03 Oct 2015, La Grande Motte, France, 2015.

27. Kreylos, Oliver. AR Sandbox, 2015,

<http://idav.ucdavis.edu/~okreylos/ResDev/SARndbox/>

MODELING AND SIMULATING NATURAL DISASTERS FOR CRISES MANAGEMENT

D. Savova¹

Keywords: *computer modeling, computer simulation, disaster, AR Sandbox*

ABSTRACT

Nowadays, modeling and simulation of natural disasters are key methods for managing disaster situations. In this paper simulations in computer and real environment are made to improve the modeling for examination and analyses of such events. The main aim is to reduce their catastrophic consequences. The process of creating a 3D digital model, a crucial part of the simulation models implementation in GIS, is shown. The realization stages of AR Sandbox, a real simulation model for visualization of relief depiction and flood cases, are presented.

¹ Denitsa Savova, Eng. PhD student, Dept. “Photogrammetry and Cartography”, UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1046, e-mail: savovadenitsa@gmail.com

