

## УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИЙ: ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАТАСТРОФ И ПРЕОДОЛЕНИЯ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

**Грибова Е.Н., Нижегородцев Р.М.**  
(Институт проблем управления РАН, Москва)  
[bell44@rambler.ru](mailto:bell44@rambler.ru)

На практике при управлении развитием территорий постоянно возникает необходимость прогнозирования последствий принимаемых хозяйственных решений и оптимизации режимов развития отдельных частей территории. Исходя из этих потребностей, авторами составлена программа, предназначенная для имитационного моделирования развития территорий, различные части которых управляются в разных режимах, что в конечном итоге при определенных условиях обеспечивает выход всей системы на траекторию сбалансированного роста с учетом региональных приоритетов развития.

Ранее авторами была составлена программа, реализованная при помощи средств MATLAB, версия 6.1, и моделирующая кумулятивный стохастический рост с диссипацией, и высказаны идеи о различных типах управляющих воздействий, возможность внесения которых допускает эта программа [4]. Некоторые из этих идей реализованы в данной работе.

Один из возможных вариантов текста полученной программы выглядит следующим образом:

```
clc
m=input('ввод m:')
% m — масштаб квадрата
S=rand(m);
% S — матрица случайных чисел m*m
n=input('ввод n:')
% n — число шагов
tv=input('ввод времени (шага) взрыва tv:')
% tv — шаг наступления катастрофы
k=1; p=0; vzr=0; g=0;
% счетчики
while k<n
```

21

```
for i=1:m
D(1,i)=rand; D(m,i)=rand;
D(i,1)=rand; D(i,m)=rand;
end
for i=2:m-1
for j=2:m-1
D(i,j)=rand/4*(S(i-1,j)+S(i,j-1)+S(i+1,j)+S(i,j+1));
end
end
% нормируем приращение D
NOR=sum(sum(D));
D(:,:)=0.5*m^2*D(:,:)/NOR;
% прирост уровня
S(:,:)=S(:,:)+D(:,:);
p=p+1;
if p>9
for i=1:m
for j=1:m
D1(i,j)=rand;
% диссипация
S(i,j)=S(i,j)-2*D1(i,j);
end
end
p=0;
% рисунки
[X,Y]=meshgrid([1:1:m]);
figure(1);
plot3(X,Y,S)
figure(2)
meshc(X,Y,S)
figure(3)
surf(X,Y,S)
shading interp
k
end
% цикл взрыва
if k==tv
iv=input('ввод координаты взрыва iv:')
```

22

```

jv=input('ввод координаты взрыва jv:')
dv=input('ввод длины территории взрыва dv:')
%if S(iv:(iv+dv),jv:(jv+dv))>FSr
% if k==tv | vzr==1
%взрыв!!!
S(iv:(iv+dv),jv:(jv+dv))=rand;
'шаг взрыва'
k
vzr=0;
end
    if k>tv
    F=S; P=S;
    F(iv:(iv+dv),jv:(jv+dv))=0;
    %рамка
    F(:,1:2)=0; F(:,(m-1):m)=0;
    F(1:2,:)=0; F((m-1):m,:)=0;
    'средние значения';
    B=sum(sum(F));
    FSr=B/(m^2-dv^2-8*m+16)
    %F — поле без территории взрыва
    P(:,1:(jv-1))=[]; P(:,(dv+2):(m-jv+1))=[];
    P(1:(iv-1),:)=[]; P((dv+2):(m-iv+1),:)=[];
    %P — поле взрыва
    PSr=mean(mean(P))
    RAT=PSr/FSr
    'наибольшие значения';
    Fmax=max(max(F));
    Pmax=max(max(P));
    k
    if RAT>0.5
    'шаг восстановления'
    k
    %печатаем шаг восстановления
    vzr=1;
    end
end
    g=g+1;
    if g>9
    R=S;

```

```

for z=1:12
%z — количество расчетов max во всей матрице
[rs,ir]=max(R);
Wmax=max(rs);
for i=1:m
if Wmax==rs(i)
a(z)=ir(i); b(z)=i;
end
end
STR=struct('nom',z,'Wmax',Wmax,'i',a(z),'j',b(z))
R(a(z),b(z))=0;
end
g=0;
ttt=input('пауза')
end
k=k+1;
end

```

Логика работы данной программы вкратце такова. Выбирается квадратное поле размером  $m$  на  $m$ , на котором будет развиваться процесс, и количество шагов  $n$ , в течение которого он будет отслеживаться. На первом шаге каждой клетке поля присваивается значение, равное случайной величине, лежащей между 0 и 1. На каждом последующем шаге к значениям клеток на границе поля прибавляется случайная величина от 0 до 1, а к значениям «внутренних» клеток поля прибавляется такая же случайная величина, но умноженная на среднее арифметическое значений клеток в четырех соседних с ней полях. Тем самым, на каждом шаге процесса получается некий рельеф поверхности, на котором уровень развития каждой клетки поля определяется ее предшествующим состоянием с учетом действия случайных факторов.

Периодически (а именно, в данной программе — через каждые 10 шагов цикла) происходит случайное «осыпание» полученного рельефа, при котором значение уровня каждой клетки уменьшается на четверенную (при «сходящем» режиме диссипации — удвоенную) случайную величину, лежащую в тех же пределах.

Таким образом, кумулятивный характер роста обеспечивается прямой зависимостью прироста уровня каждой клетки от ее предшествующего состояния. Диссипативный характер роста вытекает из периодического рассеивания накопленного уровня высоты, что усиливает неравномерный

характер динамики. Стохастичность этого процесса обеспечивается наличием случайных величин, на каждом шаге характеризующих рост и уменьшение уровней каждой клетки.

Периодически (в представленном варианте программы — через каждые 10 шагов цикла) на печать выводятся рисунки, иллюстрирующие текущее состояние рельефа, а также данные о некотором количестве (в данной версии — о двенадцати) наиболее высоких точек этого рельефа: уровень этих точек и их координаты в системе  $(i, j)$ .

В программу могут быть легко внесены изменения, связанные с пределами, в которых лежат используемые в ней случайные величины, периодичность и характер диссипации, правила изменения уровня как «внутренних» клеток, так и клеток границы. Авторами были использованы различные режимы графического вывода данных в зависимости от необходимости иллюстрации тех или иных закономерностей исследуемых случайных процессов.

На заранее задаваемом шаге  $tv$  программа моделирует локальную катастрофу (условно говоря — взрыв) на территории квадрата с вершиной  $(iv, jv)$  и длиной стороны  $dv$ , значения которых вводятся с клавиатуры непосредственно на  $tv$ -м шаге исполнения программы. «Взрыв» заключается в том, что каждой точке выбранного квадрата приписывается значение, равное случайной величине, лежащей между 0 и 1. Эта же функция, естественно, позволяет осуществить и «перезапуск» всего процесса («глобальный» взрыв), если на  $tv$ -м шаге выбирается квадрат с вершиной  $(1, 1)$  и длиной стороны  $m$ .

Программа предусматривает возможность осуществления многократных «взрывов» на различных участках исходного поля. Кроме того, имеется возможность программировать взрыв в зависимости от достижения определенных условий — например, взрывать всегда только бицентр либо предусматривать эпицентр взрыва в точке с определенным заранее заданным уровнем, и т.д.

С целью контроля за развитием ситуации и внесения управляющих воздействий на каждом шаге после взрыва программа рассчитывает среднее значение уровня точек, подвергшихся катастрофе ( $PSr$ ) и среднее значение уровня точек остальной части территории ( $FSr$ ), за исключением четырех крайних строк и столбцов (по два с каждой стороны), а также отношение этих средних величин  $RAT=PSr/FSr$ . В случае наступления определенных условий, задаваемых исследователем (определенное соотношение максимальных по модулю или средних элементов поля взрыва и

остальной части территории), программа выдает сообщение о факте восстановления поврежденной взрывом территории.

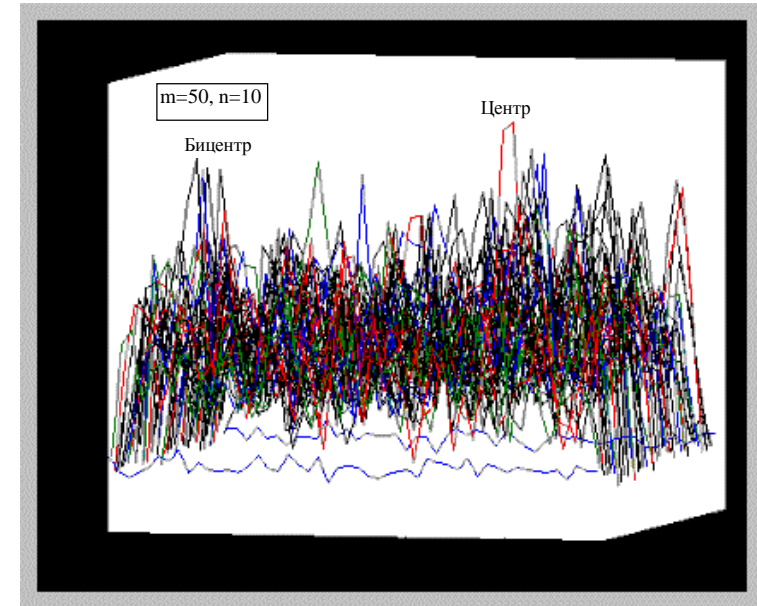


Рис.1. Моделирование катастрофы центра в условиях кумулятивного роста ( $m=50, n=10$ )

Характер работы данной программы при наступлении катастрофы показывают рисунки 1 и 2, иллюстрирующие последовательные состояния одного и того же процесса. На 18-м шаге произошел взрыв квадрата  $4 \times 4$  с вершиной в точке  $(13, 23)$ . «Сдвоенный» центр территории, который отчетливо виден на рисунке 1, таким образом, оказался разрушен, и его место занял бывший бицентр, к 40-му шагу разросшийся в целую группу точек, обозначенных в таблице 1 под номерами 1, 2, 3 и 8. Помимо него, на рисунке 2 хорошо различима группа точек 4, 5, 6, 7, 12, составляющая бицентр, и изолированная вершина 9 с координатами  $(8, 29)$ .

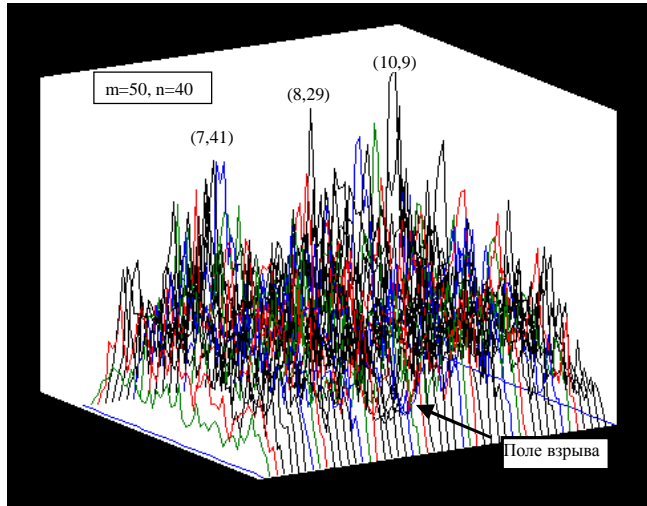


Рис.2. Моделирование катастрофы центра в условиях кумулятивного роста ( $m=50$ ,  $n=40$ )

Таблица 1 (к рисункам 1 и 2)

Рисунок 1 ( $n = 10$ )			Рисунок 2 ( $n = 40$ )		
номера наивысших точек	координаты $(i, j)$ наивысших точек	значения уровня $S(i, j)$ этих точек	номера наивысших точек	координаты $(i, j)$ наивысших точек	значения уровня $S(i, j)$ этих точек
1	(15, 24)	70,4085	1	(10, 9)	$2,3951 \cdot 10^5$
2	(16, 24)	68,6213	2	(9, 8)	$2,2336 \cdot 10^5$
3	(9, 7)	67,2671	3	(9, 5)	$2,1700 \cdot 10^5$
4	(8, 8)	66,1475	4	(7, 41)	$2,1563 \cdot 10^5$
5	(3, 13)	65,5192	5	(9, 36)	$2,0646 \cdot 10^5$
6	(44, 13)		6	(10, 36)	
7	(3, 14)		7	(9, 41)	
8	(12, 22)		8	(10, 7)	
9	(42, 14)		9	(8, 29)	
10	(44, 15)		10	(23, 9)	
11	(36, 30)		11	(21, 27)	
12	(13, 20)		12	(9, 40)	

Рисунки 3 и 4 иллюстрируют ситуацию, когда ни центр, ни бицентр непосредственно не пострадали от взрыва ( $iv = 18$ ,  $iv = 27$ ,  $iv = 23$ ,  $dv = 6$ ), однако, в силу кумулятивного характера процесса роста, группа точек, сформировавшая на 10-м шаге бицентр (28, 41), оказалась втянута в стохастическое перераспределение ресурсов и быстро утратила лидирующий уровень. К 40-му шагу, когда последствия взрыва становятся уже едва ощутимы (это хорошо видно на рисунке 4), сформировались совершенно другие устойчивые бицентры, один из которых включает в себя точки 2, 5, 10 из последнего столбца таблицы 2, а другой — точки 3, 8, 9, 12.

Картина с ликвидацией последствий катастрофы выглядит достаточно благополучно (к 40-му шагу RAT неизменно достигает 0,35-0,45), если программа допускает кумулятивный стохастический рост без насыщения. Ситуация претерпевает коренные изменения в случае, когда совокупный объем распределяемых на каждом шаге ресурсов ограничен определенной величиной, возможно, зависящей от времени (это некий аналог *распределенного* ВНП). Задавая различную зависимость ВНП от времени, можно в случае необходимости моделировать динамику экономического подъема, кризиса, депрессии, циклические колебания конъюнктуры на данной территории.

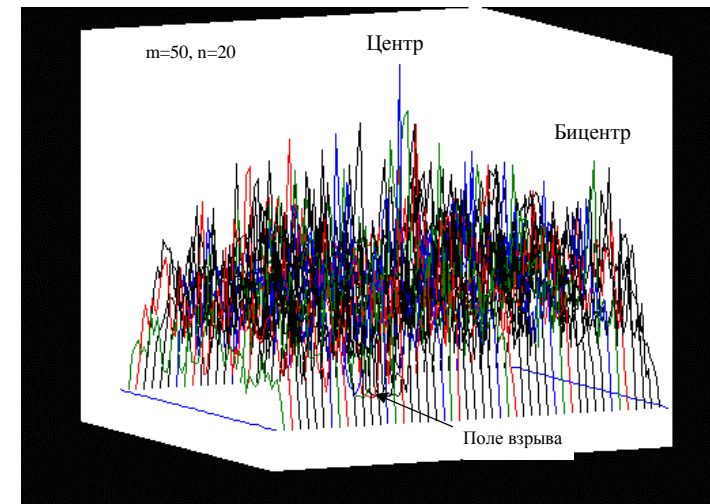


Рис. 3. Моделирование становления бицентров в условиях катастрофы ( $m=50$ ,  $n=20$ )

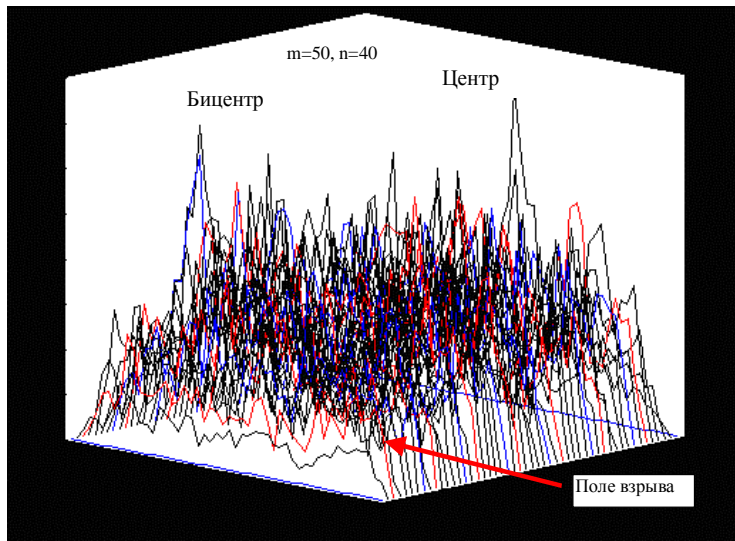


Рис.

4. Моделирование становления бицентров в условиях катастрофы ( $m=50, n=40$ )

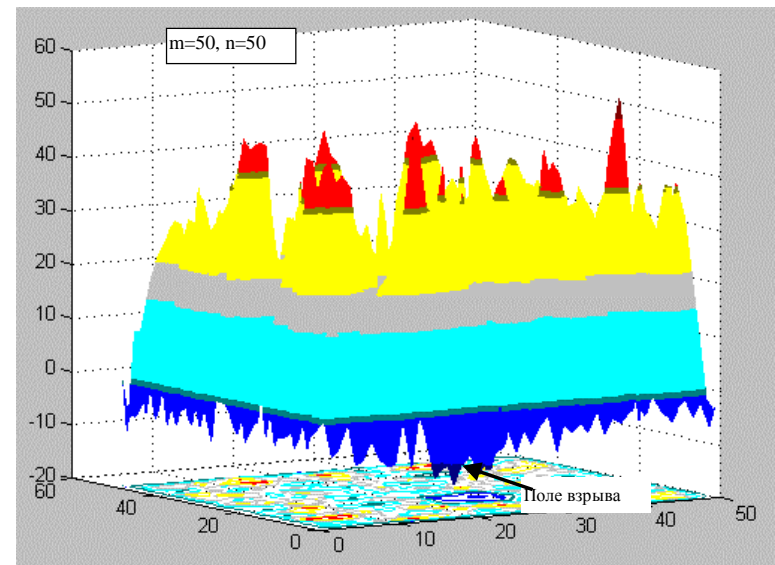


Рис. 5. Моделирование катастрофы в условиях кумулятивного роста с насыщением ( $m=50, n=30$ )

Таблица 2 (к рисункам 3 и 4)

n = 10		n = 20 (рис. 3)		n = 30		n = 40 (рис. 4)	
номер вершины	координаты вершины	номер вершины	координаты вершины	номер вершины	координаты вершины	номер вершины	координаты вершины
1	(18, 24)	1	(15, 22)	1	(7, 23)	1	(18, 41)
2	(28, 41)	2	(15, 23)	2	(19, 41)	2	(44, 16)
3	(28, 24)	3	(16, 23)	3	(17, 35)	3	(35, 18)
4	(14, 47)	4	(15, 24)	4	(20, 25)	4	(16, 26)
5	(32, 24)	5	(18, 25)	5	(19, 25)	5	(43, 15)
6	(35, 3)	6	(5, 23)	6	(12, 46)	6	(17, 41)
7	(14, 15)	7	(40, 27)	7	(17, 23)	7	(17, 40)
8	(43, 14)	8	(17, 23)	8	(12, 27)	8	(36, 16)
9	(33, 24)	9	(35, 22)	9	(17, 25)	9	(39, 17)
10	(45, 45)	10	(16, 6)	10	(12, 45)	10	(44, 15)
11	(47, 43)	11	(37, 17)	11	(18, 25)	11	(27, 41)
12	(22, 10)	12	(19, 25)	12	(17, 26)	12	(37, 15)

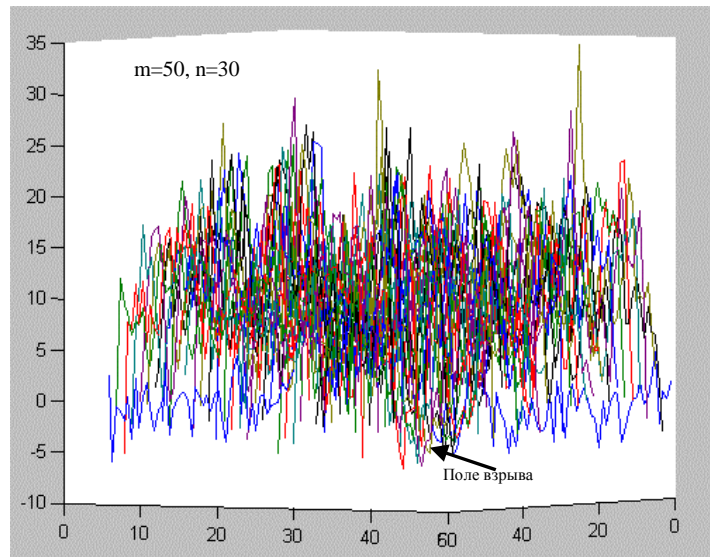


Рис. 6. Моделирование катастрофы в условиях кумулятивного роста с насыщением ( $m=50, n=50$ )

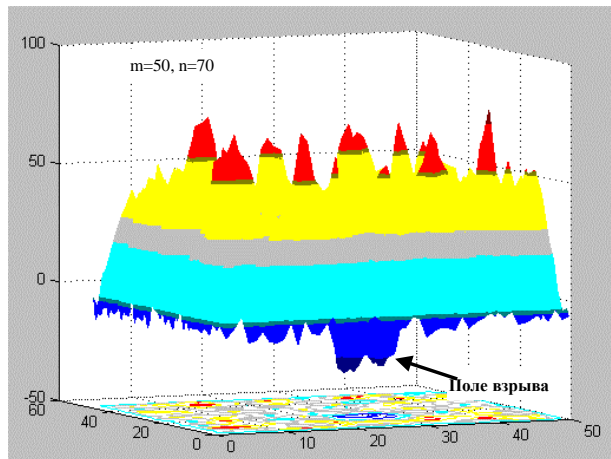


Рис. 7. Моделирование катастрофы в условиях кумулятивного роста с насыщением ( $m=50, n=70$ )

Катастрофу в условиях кумулятивного роста с насыщением и диссипацией иллюстрируют рисунки 5, 6 и 7, отражающие соответственно 30-й, 50-й и 70-й шаги одного и того же процесса. Несмотря на то, что первоначально поле взрыва начало в среднем подниматься (PSr выросло с  $-0,6713$  на 20-м шаге до  $-0,5404$  на 30-м), затем началось стабильное ухудшение:  $PSr(40) = -3,1678$ ,  $PSr(50) = -6,6712$ ,  $PSr(60) = -12,9881$ ,  $PSr(70) = -17,9789$ . Обращает на себя внимание тот факт, что средняя глубина территории взрыва увеличилась с 20-го по 70-й шаг более чем в 25 раз, тогда как высота центра, не изменившего за этот период своих координат, выросла лишь в 4 раза — с  $20,6046$  на 20-м шаге до  $81,5786$  на 70-м.

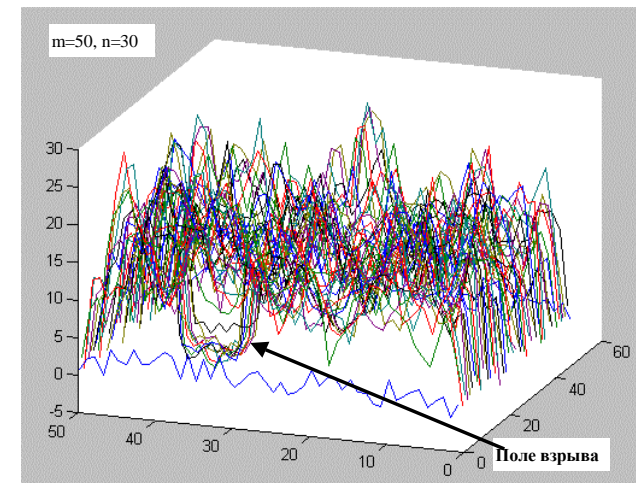


Рис. 8. Моделирование катастрофы в режиме «падающей» диссипации ( $m=50, n=30$ )

Полученные результаты еще раз подтверждают, что в отсутствие целенаправленных управляющих воздействий неминуемо происходит дифференциация, расслоение региона или страны на лидирующие и заметно отстающие по уровню развития территории, что предопределяется логикой объективных стихийно действующих законов рыночной экономики, и для успешного противостояния этим тенденциям необходимы осознанные усилия государственной власти [1, 2, 3].

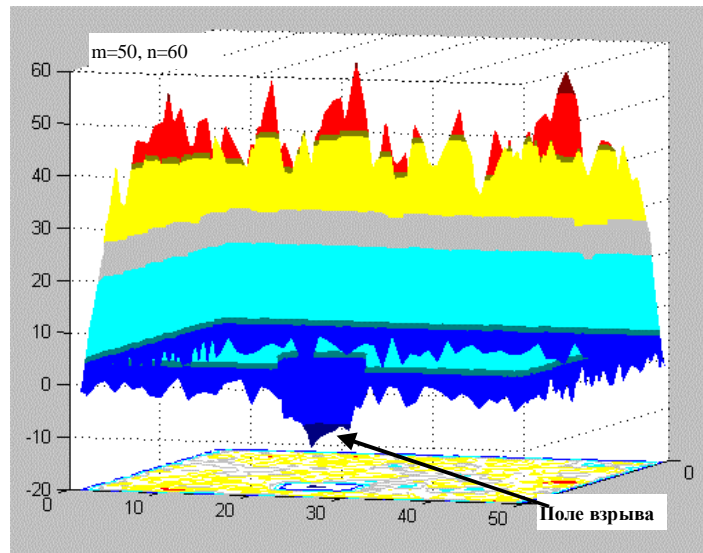


Рис. 9. Моделирование катастрофы в режиме «падающей» диссипации ( $m=50, n=60$ )

Даже введение «падающего» режима диссипации, проиллюстрированного рисунками 8 и 9, отражающими различные стадии одного и того же процесса, позволяет лишь смягчить, но не устранить до конца указанную общую закономерность ( $PSr(30) = -0,4902$ ,  $PSr(50) = -1,9322$ ,  $PSr(70) = -4,1629$ ). При этом обращает на себя внимание тот факт, что территория, потерпевшая катастрофу, нередко имеет тенденцию к расширению, захватывая и соседние участки поля, на которых тоже начинается обвальное падение уровня развития, как это видно на рисунках 8 и 9.

Радикальное преодоление отмеченной тенденции возможно в случае, когда часть территории взрыва (даже одна точка) начинает развиваться в режиме «ударной стройки», т.е. получает «целевым назначением» некоторый объем ресурсов за счет пропорционального замедления роста остальных точек всего поля. Управляющее воздействие такого рода порождает различные сценарии быстрого выхода из кризиса части территории, потерпевшей катастрофу, что хорошо согласуется с многочисленными реальными примерами регионального развития, в частности, нашей стра-

ны (освоение целинных земель, восстановление Ташкента после землетрясения 1966 года и проч.).

Естественно, за пределами нашего рассмотрения остаются вопросы, связанные с мотивацией и стимулированием необходимого распределения ресурсов, составляющие неотъемлемую составную часть формирования и реализации экономической политики государства, в том числе и в региональном ее аспекте.

## Литература

1. НИЖЕГОРОДЦЕВ Р.М. *Траектории региональной экономики: проблемы причинности и моделирования*// Информация и экономика: теория, модели, технологии: Сб. науч. трудов/Под ред. Е.Ю.Иванова, Р.М.Нижегородцева. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2002. — С. 172-194.
2. НИЖЕГОРОДЦЕВ Р.М. *Информационная экономика. Книга 3. Взгляд в Зазеркалье: Техничко-экономическая динамика кризисной экономики России.* Москва — Кострома, 2002. — 170 с.
3. НИЖЕГОРОДЦЕВ Р.М. *Поляризация экономического пространства России и как ей противодействовать*//Проблемы теории и практики управления. 2003. № 1. — С. 89-95.
4. НИЖЕГОРОДЦЕВ Р.М., ГРИБОВА Е.Н. *Апология бицентризма: рост и упадок, анализ и прогнозирование*// Региональная экономика в информационном измерении: модели, оценки, прогнозы: Сб. науч. трудов/Под ред. Е.Ю.Иванова, Р.М. Нижегородцева. Москва — Барнаул: Изд-во «Бизнес-Юнитек», 2003. — С. 81-114.