

# МНОГОАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В РЕГИОНЕ<sup>1</sup>

*Редько В.Г., д.ф.-м.н.*

*e-mail: vcredko@gmail.com*

*Сохова З. Б.*

*e-mail: zareta\_s@mail.ru*

*Научно-исследовательский институт системных исследований РАН*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В работе предлагается многоагентная модель распределения сельскохозяйственных угодий между землепользователями в отдельном регионе и приводятся первые результаты компьютерного исследования модели. Сельскохозяйственные угодья – это земельные угодья, систематически используемые для получения сельскохозяйственной продукции [1]. Аренда земель экономически выгодна обществу, собственникам земель и землепользователям, арендующим земельные участки [2]. Основные задачи землевладельца заключаются в выгодном распределении имеющихся участков между землепользователями-арендаторами, учитывая их экономические характеристики, а также предотвращение неблагоприятного воздействия на землю.

В предлагаемой модели рассматривается сообщество *землепользователей* и *центра* *малого региона*. Центр сдает земельные участки землепользователям в аренду. Выбор арендатора происходит путем конкурсного отбора. Работа является продолжением работы [3] по созданию и исследованию многоагентных моделей прозрачной экономики.

## 2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Основные предположения модели состоят в следующем. Имеется муниципальный центр (например, районный центр), владелец земельных участков на сравнительно небольшой территории (далее будем использовать просто термин «центр»). Имеется сообщество  $N$  землепользователей, производителей сельскохозяйственной

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 13-01-00399

продукции. Отдельным землепользователем может быть коллектив сельхозпроизводителей (колхоз, коллектив фермеров) или отдельный фермер. Центр сдает земельные участки землепользователям в аренду. Землепользователь производит сельхозпродукцию для извлечения прибыли. Центр и землепользователи функционируют в прозрачной среде, т.е. предоставляют всему сообществу информацию о своем текущем капитале, прибыли, о состоянии участков (в том числе, об их экологическом состоянии). Отдельный землепользователь рассматривается как *агент* сельскохозяйственного сообщества региона.

Считаем, что каждый год какие-то земельные участки освобождаются (например, фермер решил сократить свой участок, почуствовав, что не справится со всем участком, или распался какой-то коллектив фермеров и т.п.). Центр также может изъять участок у фермера, совершающего экологические нарушения. Раз в год центр предоставляет возможность землепользователям снимать в аренду свободные участки. В модели год считается периодом функционирования сообщества.

Рассмотрим процесс распределения свободных участков в определенный год. Считаем, что имеется  $K$  свободных участков. Каждый участок характеризуется своей производительностью  $k_i$ ,  $i = 1, \dots, K$ . Производительность участков оценивается центром. Считаем, что  $n$  землепользователей принимают участие в конкурсе распределения участков ( $n \leq N$ ). Каждый землепользователь имеет определенный свободный капитал  $C_j$ ,  $j = 1, \dots, N$ . Прибыль, ожидаемая  $j$ -м землепользователем от  $i$ -го участка в следующем году, равна:

$$Pr_{ji} = k_i F(C_j) - A_i, \quad (1)$$

где  $A_i$  – стоимость аренды  $i$ -го участка, функция  $F(C)$  одинакова для всех конкурсантов, при моделировании считается, что  $F(x) = x^2/(x^2 + a^2)$ . Начальная стоимость аренды свободных участков задается центром. Деньги в аренду землепользователь готов вложить в те участки, от которых прибыль будет наибольшая. Землепользователь намечает взятие в аренду только тех участков, для которых ожидаемая прибыль больше определенного порога. Считаем, что в процессе конкурентного отбора арендаторов землепользователь намечает новую стоимость аренды: ту, которую назначил центр, плюс небольшая доля, пропорциональная ожидаемой прибыли:

$$A_{ji} = A_i + d Pr_{ji}, \quad (2)$$

где  $d$  – коэффициент увеличения аренды землепользователями ( $d > 0$ ). Причем для отдельного участка землепользователь не может вложить в аренду больше уже имеющегося у него капитала  $C_j$ . Планируемые значения аренды землепользователь сообщает в центр.

Считаем, что каждый землепользователь имеет определенный ресурс  $R_j$  (количество работников на данной ферме, количество сельскохозяйственной техники и т.п.) для проведения сельскохозяйственных работ на своем участке. Также вводим суммарную производительность всех участков землепользователя  $k_{sum,j}$ . Суммарная производительность  $k_{sum,j}$  равна сумме производительности того начального участка, который был у землепользователя до начала аренды, и производительностей тех участков, которые землепользователь начинает арендовать у центра. Кроме того, вводим удельный (относительный) ресурс землепользователя  $R_{relative,j}$ , т.е. его ресурс  $R_j$ , отнесенный к суммарной производительности участков землепользователя  $k_{sum,j}$ :

$$R_{relative,j} = R_j / k_{sum,j}. \quad (3)$$

Процесс выбора арендатора для каждого из свободных участков организуется следующим образом. Естественно предположить, что в процессе конкурентного распределения свободных участков принимают участие те землепользователи, относительный ресурс которых достаточно большой, выше некоторого положительного порога  $Th_{R,r}$ , т.е. те землепользователи, для которых  $R_{relative,j} > Th_{R,r}$ . Кроме того, центр выбирает того землепользователя, который может заплатить наибольшую арендную плату за рассматриваемый участок.

Схема выбора землепользователя для каждого свободного участка состоит в следующем.

Каждый землепользователь определяет, активен ли он для того, чтобы арендовать данный участок. Он активен, если его относительный ресурс  $R_{relative,j}$  и капитал  $C_j$  достаточно велики.

Схема оценки активности землепользователя следующая. Проверяются два условия *A* и *B*:

*Условие A.* Сначала землепользователь оценивает, хватит ли у него ресурса для обработки нового участка. Если величина относительного ресурса  $R_{relative,j}$  больше определенного порога,  $R_{relative,j} > Th_{R,r}$ , то землепользователь считает, что ресурса у него достаточно и переходит к оценке условия *B*.

*Условие B.* Если условие *A* выполнено, то землепользователь определяет, достаточно ли у него капитала  $C_j$  для того чтобы он был

активным, для этого прибыль от капитала  $C_j$  (за вычетом аренды) должна быть больше определенного порога  $Th_{Pr}$ .

Если условия  $A$  и  $B$  оба выполнены, то землепользователь принимает решение о том, что он активен, т.е. он может принимать участие в конкурсе для аренды рассматриваемого участка.

Если землепользователь для данной итерации активен, то он согласно выражению (2) намечает новую арендную плату за участок, которую он готов платить.

Центр выделяет землепользователя, который готов заплатить за аренду больше других, и намечает новую цену аренды. Очевидно, что больше всех готов заплатить тот арендатор, который имеет наибольший свободный капитал  $C_j$ .

После того, как арендатор намечен, его свободный капитал уменьшается на величину аренды рассматриваемого участка, и увеличивается суммарная производительность участков этого землепользователя  $k_{sum,j}$  на величину производительности рассмотренного участка  $k_i$ , и, соответственно, уменьшается относительный ресурс  $R_{relative,j}$  этого землепользователя.

После того, как центр определил победителя конкурса для какого-либо участка, этот победитель может принимать участие в дальнейшем конкурсе, только его капитал  $C_j$  уже будет уменьшен на намеченную к выплате аренду, и относительный ресурс  $R_{relative,j}$  этого землепользователя также будет уменьшен ( $R_{relative,j} = R_j / k_{sum,j}$ ).

Далее каждый землепользователь оплачивает арендную плату за арендуемые участки и его капитал уменьшается на величину арендных выплат:

$$C_j = C_j - Ar_j, \quad (4)$$

где  $Ar_j$  – расходы на аренду  $j$  – го землепользователя.

Также рассчитывается прибыль центра от аренды по формуле:

$$Pr_{centra}(T) = \sum_{j=1}^N Ar_j. \quad (5)$$

В конце периода (т.е. по прошествии года) в модели рассчитывается общий прирост капитала каждого землепользователя. Этот прирост определяется величиной сложившегося к этому моменту свободного капитала  $C_j$  и суммарной производительностью участков этого землепользователя  $k_{sum,j}$  по формуле:

$$\Delta C_j = k_{sum,j} F(C_j), \quad (6)$$

Также в конце периода учитываются расходы землепользователей, а именно все капиталы  $C_j$  умножаются на коэффициент  $k_{decrease}$  ( $0 < k_{decrease} < 1$ , при моделировании обычно полагалось, что  $k_{decrease} = 0.9$ ). Эти расходы можно рассматривать и как учет инфляции.

Кроме этого, считается, что в течение периода ресурс каждого землепользователя случайно немного варьируется. Характерная величина вариации ресурса равна  $\Delta R$ .

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Модель исследовалась путем компьютерного моделирования. Рассматривалась динамика капиталов и суммарной производительности участков землепользователей.

Ниже приведены результаты моделирования для следующих параметров:

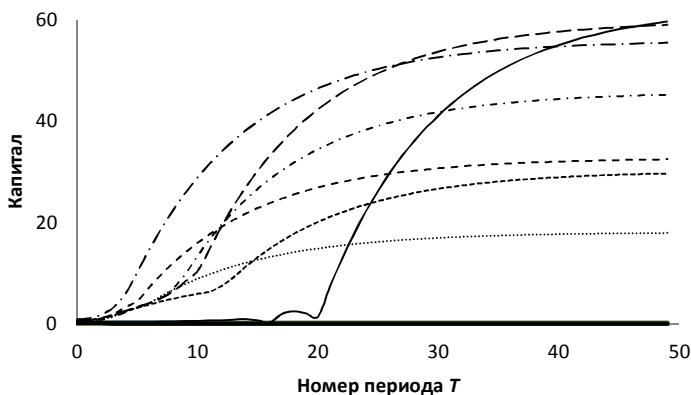
- количество периодов:  $T = 50$ ,
- общее количество участвующих в распределении земельных участков землепользователей:  $n = N = 10$ ,
- количество свободных каждый год участков:  $K = 6$ ,
- параметр функции прибыли  $F(x)$ :  $a = 0.3$ ,
- порог прибыли, при превышении которого землепользователь готов брать в аренду землю:  $Th_{p_r} = 0.3$ ,
- порог относительного ресурса, при превышении которого землепользователь готов брать в аренду землю:  $Th_{R,r} = 0.1$ ,
- коэффициент увеличения аренды:  $d = 0.1$ ,
- характерная вариация ресурса землепользователя составляла  $\Delta R = 0.1$ .
- коэффициент учета расходов землепользователя:  $k_{decrease} = 0.9$
- коэффициент установки начальной ставки арендной платы  $A_{i0}$  центром  $k_{arenda} = 0.3$  ( $A_{i0} = k_{arenda} k_i$ ).

Начальный капитал агентов был случайным, его величина была порядка 1.

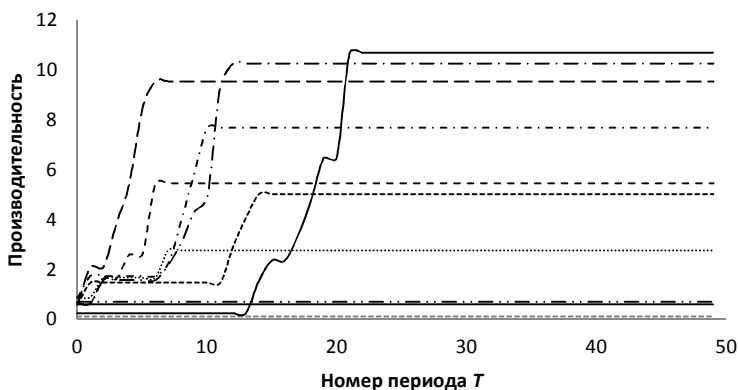
Начальный ресурс и начальная суммарная производительность для каждого землепользователя были случайными и по величине были порядка 1.

На рис. 1 представлены зависимости капиталов землепользователей от номера периода. Видно, что капитал семи из десяти землепользователей растет. Начальные капиталы трех землепользователей оказались настолько малы, что такого капитала не хватало для производства достаточного продукта и этот капитал только уменьшался за счет расходов (или за счет инфляции).

Анализ расчетов показывает, что сначала всем земледельцам не хватает капитала, чтобы получить достаточную прибыль, превышающую порог  $Th_{Pr} = 0.3$ , но с течением времени они используют уже имеющиеся в их распоряжении участки, получают при этом прибыль. Их капиталы растут, и некоторые земледельцы получают возможность арендовать участки.



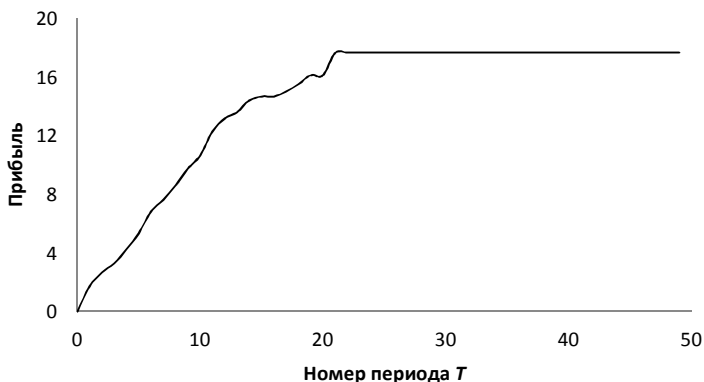
**Рис. 1.** Зависимости капиталов земледельцев от номера периода  $T$  (количество земледельцев, участвующих в конкурсе  $n=10$ )



**Рис. 2.** Динамика суммарной производительности для каждого земледельца (количество земледельцев, участвующих в конкурсе  $n=10$ )

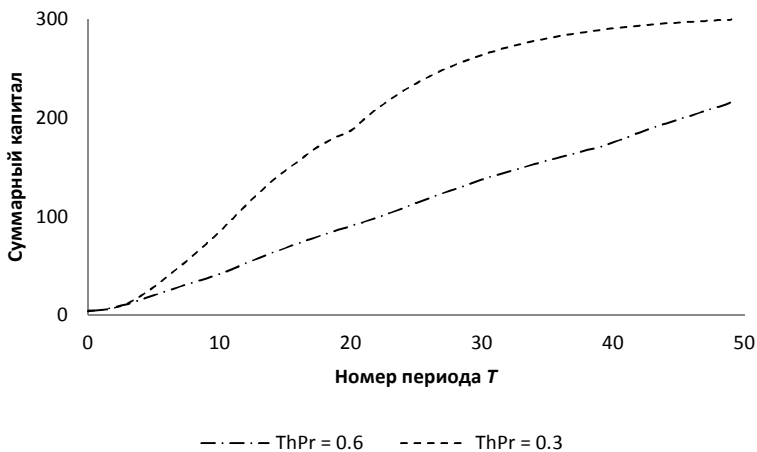
При аренде новых участков у землепользователя возрастает суммарная производительность участков  $k_{sum,j}$ . Но при этом уменьшаются относительные ресурсы землепользователя:  $R_{relative,j} = R_j / k_{sum,j}$ . Поэтому дальше эти землепользователи только очень редко могут арендовать новые участки, так как им не хватает ресурса для обработки участков большего размера. Рис. 2 показывает динамику суммарной производительности для каждого землепользователя.

На рис. 3 представлен график зависимости прибыли центра от времени. Видно, что прибыль центра сначала растет, так как землепользователи активно арендуют землю, когда же относительный ресурс землепользователей становится меньше порога, прибыль становится постоянной.



**Рис. 3. Зависимость прибыли центра от времени (периода T)**

Еще один эксперимент показывает влияние параметра  $Th_{pr}$  на поведение модели. Например, если положить  $Th_{pr} = 0.3$  и  $Th_{pr} = 0.6$  и сравнить суммарный капитал землепользователей, то получим, что при более низком пороге  $Th_{pr}$  сообщество землепользователей получает большую прибыль. То есть землепользователи получают в конечном итоге больше прибыли, работая за меньшую прибыль в периоде, нежели будут простаивать в ожидании большей прибыли. Рис. 4 иллюстрирует данный результат работы модели.



**Рис. 4. Зависимость суммарной прибыли земледельцев от времени и параметра  $ThPr$**

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, построена модель взаимодействия центра и земледельцев малого региона. Продемонстрирована работоспособность модели и получены результаты компьютерных экспериментов. Проанализировано влияние параметров на исследуемые процессы. Модель показывает вполне естественную динамику капиталов и производительностей земледельцев.

**Благодарность.** Авторы благодарны Нагоеву З.В., Гуртуеву А. О. и Нагоевой О.В. за плодотворные дискуссии и интересные идеи.

#### Литература

1. Государственный национальный доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2006-2010 гг. – Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр).
2. Белякова А.М. Пути повышения инвестиционной привлекательности аренды земель сельскохозяйственного назначения// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2014. – № 2 (110). – С. 19-24.
3. Редько В.Г., Сохова З.Б. Многоагентная модель прозрачной рыночной экономической системы// Труды НИИСИ РАН. – 2013. – Т. 3. – № 2. – С. 61-65.