

З.Б. СОХОВА, В.Г. РЕДЬКО

Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва
zarema_s@mail.ru, vgreddko@gmail.com

АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ РЫНКА АРЕНДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В РЕГИОНЕ¹

Построена агент-ориентированная модель прозрачного рынка аренды сельскохозяйственных земель в регионе. В работе рассматривается сообщество взаимодействующих землепользователей и центра малого региона. Продемонстрирована работоспособность модели и получены первые результаты ее исследования. Показана эффективность предложенной схемы взаимодействия между землепользователями и муниципальным центром.

Ключевые слова: *аренда сельскохозяйственных земель, механизмы аренды, прозрачный рынок аренды, конкуренция.*

Введение

В настоящее время большая часть сельскохозяйственных земель в регионах находится в государственной и муниципальной собственности, поэтому аренда является наиболее распространенной формой использования земли в сельском хозяйстве. Для муниципалитета важной задачей является эффективное использование механизма аренды. Методы агент-ориентированного моделирования могут помочь оценить поведение реальных экономических агентов и выработать эффективную стратегию распределения земель между арендаторами [1]. Данная работа является развитием работы [2] по созданию и исследованию агент-ориентированных моделей *прозрачной экономики*.

В отличие от других работ по многоагентным экономическим моделям (см., например, [3]) рассматривается упрощенное экономическое сообщество, состоящее только из муниципального центра малого региона и землепользователей, что позволяет построить и проанализировать модель достаточно четко. В этом сообществе имеется конкуренция, которая может приводить к вымиранию тех или иных землепользователей, что характерно для рыночной экономики. Тем не менее, хотя экономика и рыночная, экономические характеристики каждого из субъектов сообщества

¹ Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект № 16-01-00223

открыты для всего сообщества и взаимодействие между субъектами однозначно определено.

Общие положения модели

Рассматривается сообщество N землепользователей и центра малого региона. Отдельным землепользователем может быть коллектив сельхозпроизводителей (например, коллектив фермеров) или отдельный фермер. Центр сдает земельные участки землепользователям в аренду. Землепользователь производит сельхозпродукцию для извлечения прибыли.

Муниципальный центр (например, районный центр) является владельцем земельных участков на сравнительно небольшой территории (далее будем использовать просто термин «центр»). Считаем, что каждый год какие-то земельные участки освобождаются (например, фермер решил сократить свой участок, почувствовав, 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.

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.

Принципы взаимодействия центра и землепользователей

Рассмотрим процесс распределения свободных участков в определенный год. Считаем, что ежегодно в конкурсе участвуют K свободных участков. Каждый участок характеризуется своей производительностью k_i , $i = 1, \dots, K$. Производительность участков оценивается центром и зависит от местоположения и плодородия почвы.

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:

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

где A_i – стоимость аренды i -го участка, функция $F(C)$ одинакова для всех конкурсантов, при моделировании полагалось, что $F(x) = x^2/(x^2 + a^2)$, где a

– положительный параметр. Начальная стоимость аренды свободных участков задается центром следующим образом:

$$A_{i0} = k_{аренда} k_i, \quad (2)$$

где $k_{аренда}$ – положительный параметр, k_i – производительность участка. Обычно мы считали, что производительность участка k_i равна его кадастровой стоимости, а параметр $k_{аренда} = 0.03$; т.е. центр устанавливает начальную арендную плату в размере 3% от кадастровой или рыночной стоимости участка. Этот вариант арендной платы широко используется в реальной экономической ситуации.

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:

$$A_{ji} = A_i + d P_{ji}, \quad (3)$$

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.

Также каждый землепользователь характеризуется величиной ежегодных арендных выплат центру A_{rj} , $j = 1, \dots, N$. Эта величина увеличивается, если землепользователь берет в аренду участок.

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 $k_{sum,j}$:

$$R_{relative,j} = R_j / k_{sum,j}. \quad (4)$$

Схема выбора арендатора

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 данного периода активен, то он согласно выражению (3) 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 стоимости 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.

Далее победитель конкурса 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:

$$C_j = C_j - Ar_j, \quad (5)$$

где Ar_j – расходы на аренду j – го землепользователя.

Также рассчитывается прибыль центра от аренды по формуле:

$$P_c(T) = \sum_{j=1}^N Ar_j. \quad (6)$$

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:

$$\Delta C_j = k_{sum,j} F(C_j), \quad (7)$$

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 ΔR .

Результаты моделирования

Модель исследовалась путем компьютерного моделирования. Ниже приведены результаты моделирования для следующих параметров:

- количество периодов: $T = 100$,
- общее количество участвующих в распределении земельных участков землепользователей: $n = N = 10$,
- количество свободных каждый год участков: $K = 5$,
- параметр функции прибыли $F(x)$: $a = 0.3$ или 1 ,
- порог прибыли, при превышении которого землепользователь готов брать в аренду землю: $Th_{pr} = 0.4$ или 0.6 ,
- 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: $\Delta R = 0.1$,
- коэффициент учета расходов землепользователя: $k_{decrease} = 0.9$,

– коэффициент установки начальной арендной платы A_0 центром: $k_{аренда} = 0.03$.

Начальные капиталы C_j , ресурсы R_j и суммарная производительность $k_{sum,j}$ каждого землепользователя исходно были случайными и были равномерно распределены в интервале $[0,1]$.

Рассмотрим сначала зависимость капитала землепользователей от времени (номера периода T) при $a = 0.3$. Результаты представлены на рис. 1.

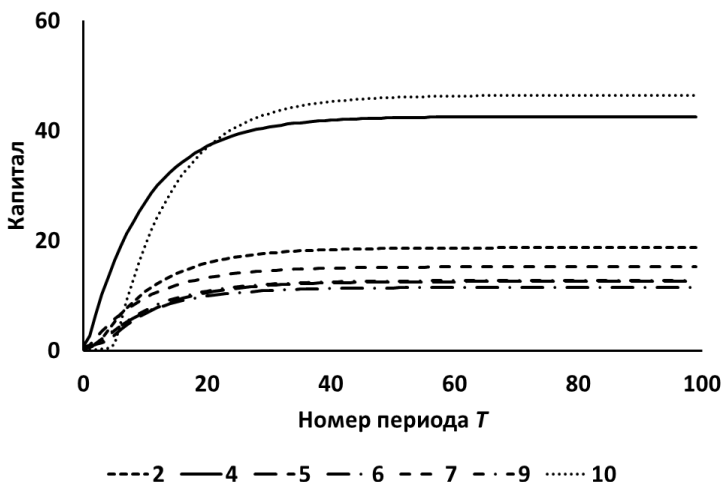


Рис. 1. Зависимость капитала землепользователей от времени при $a = 0.3$. Количество землепользователей, участвующих в конкурсе, $n = 10$. Цифрами 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10 обозначены номера землепользователей. Землепользователи под номерами 1, 3, 8 не представлены, так как их ресурс не позволяет им участвовать в конкурсе

Видно, что капитал семи из десяти землепользователей растет. Начальные капиталы трех землепользователей оказались настолько малы, что его не хватало для производства достаточного продукта, капитал их падал, и эти землепользователи прекращали свою деятельность.

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 участ-

ки, так как им не хватает ресурса для обработки участков большего размера. Рис. 2 показывает динамику суммарной производительности $k_{sum,j}$ для каждого землепользователя.

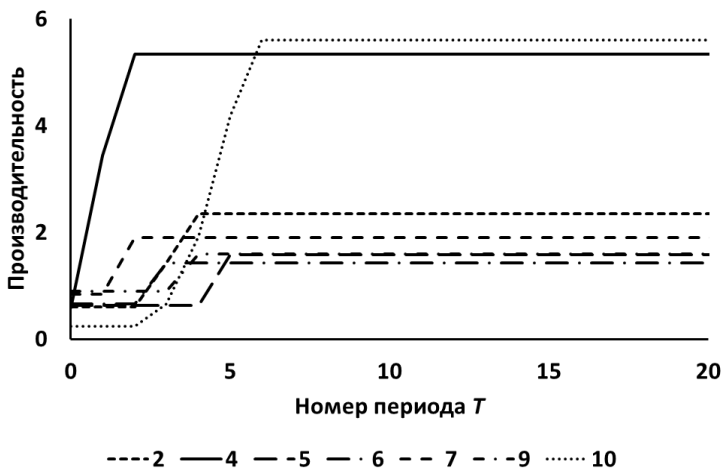


Рис. 2. Динамика суммарной производительности для каждого землепользователя при $a = 0.3$. Количество землепользователей, участвующих в конкурсе, $n = 10$. Цифрами 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10 обозначены номера землепользователей. Землепользователи под номерами 1, 3, 8 не представлены, так как их ресурс не позволяет им участвовать в конкурсе

Рассмотрено также влияние параметра a на динамику капиталов землепользователей. Проведены расчеты для $a = 0.3$ и $a = 1$. Результаты показаны на рис. 3.

Можно предположить, что параметр a отвечает за комфортность работы в области сельского хозяйства в том или ином регионе (например, это может быть поддержка сельхозпроизводителей на уровне государства, в частности снижение налогов и т.п.). При низких значениях a ($a < 0.6$) землепользователи накапливают капитал быстрее, чем при высоких значениях ($a > 0.6$). Поэтому, при $a = 0.3$ средний суммарный капитал производителей значительно выше, чем при $a = 1$. Также при малых значениях a значительно возрастает прибыль центра.

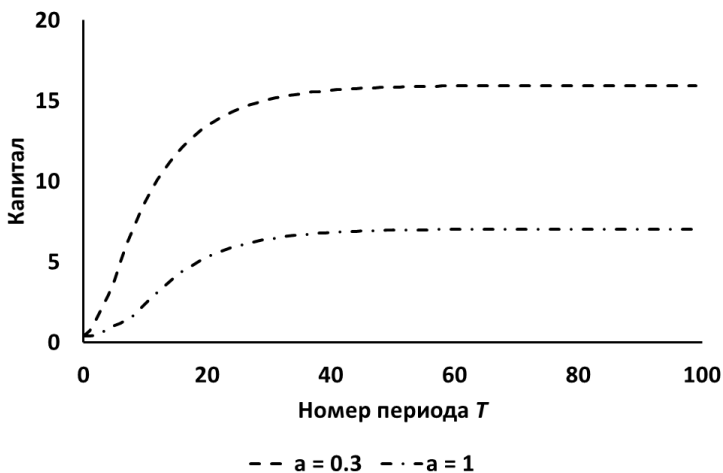
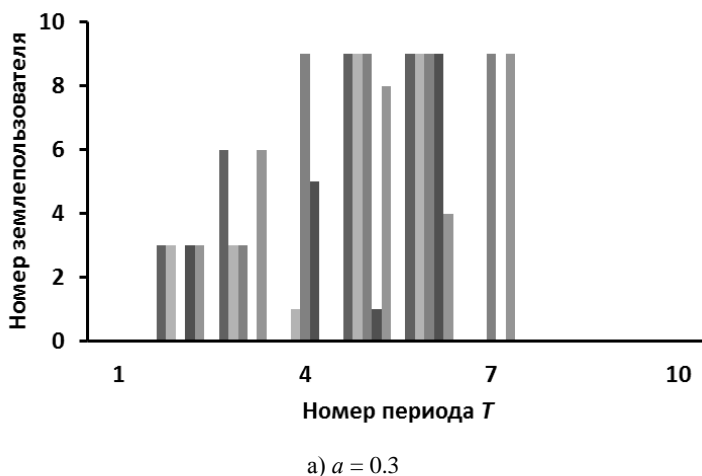
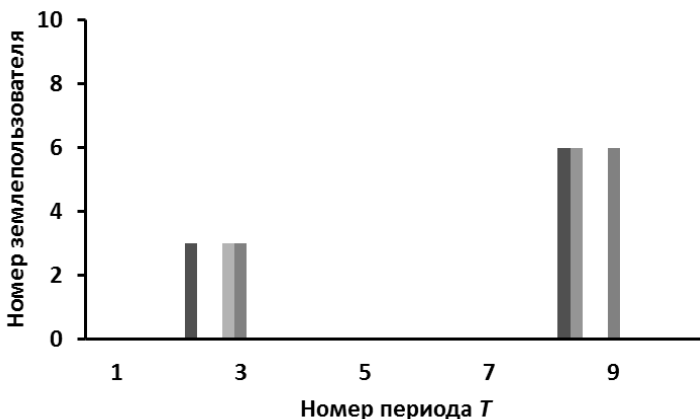


Рис. 3. Зависимость среднего суммарного капитала землепользователей от времени и от параметра a

При моделировании рассмотрено также влияние параметра a на динамику заключения сделок. На рис. 4 (а) и 4(б) представлены диаграммы данных расчетов.



а) $a = 0.3$



б) $a = 1$

Рис. 4. Динамика заключения сделок аренды для каждого землепользователя (количество землепользователей, участвующих в конкурсе, $n = 10$)

При $a = 0.3$ значительно больше успешных сделок аренды. Этот факт объясняет и то, что прибыль центра и землепользователей больше при малых значениях a , т.е. при более выгодных условиях работы для землепользователей.

Еще один эксперимент показывает влияние параметра Th_{Pr} на поведение модели. Например, если положить $Th_{Pr} = 0.4$ и $Th_{Pr} = 0.7$ и сравнить средний 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.

В приведенной модели не рассматривалось появление новых землепользователей и возможности перевода свободного капитала в ресурс для обработки земли. То есть, арендатор, исчерпав свой ресурс, дальше не имеет возможности расширяться. В дальнейшем предполагается расширить модель с учетом этих факторов.

Выводы

Таким образом, построена агент-ориентированная модель рынка аренды малого региона. Продемонстрирована работоспособность модели и получены результаты компьютерных экспериментов. Проанализировано

влияние параметров на исследуемые процессы. Модель показывает вполне естественную динамику капиталов и производительностей землепользователей.

Список литературы

1. Bert F.E., Podestá G.P., Rovere S.L., Menéndez A., North M., Tatara E., Laciana C.E., Weber E., Ruiz Toranzo F. An agent based model to simulate structural and land use changes in agricultural systems of the argentine pampas // *Ecological Modelling*. 2011. Vol. 222. No. 19. PP. 3486-3499.
2. Редько В.Г., Сохова З.Б. Многоагентная модель прозрачной рыночной экономической системы // *Труды НИИСИ РАН*. 2013. Т. 3. № 2. С. 61-65.
3. Бахтизин А.Р. Гибрид агент-ориентированной модели с пятью группами домохозяйств и CGE модели экономики России // *Искусственные общества. – М: ЦЭМИ РАН*, 2007. Т. 2. № 2. С. 30-75.