

АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ АРЕНДЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ В РЕГИОНЕ

З.Б. СОХОВА¹, В.Г. РЕДЬКО¹, З.В. НАГОЕВ²

¹ФГУ ФНИЦ Научно-исследовательский институт системных исследований РАН
117218, Москва, Нахимовский просп., 36, к.1. E-mail: zarema_s@mail.ru, vcredko@gmail.com

²ФГБУН Институт информатики и проблем регионального управления
Кабардино-Балкарского научного центра РАН
360000, КБР, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а
E-mail: zaliman@mail.ru

AGENT-BASED MODELING OF AGRICULTURAL LAND RENTAL IN A REGION

Z.B. SOKHOVA¹, V.G. RED'KO¹, Z.V. NAGOEV²

Federal State Institution «Scientific Research Institute for System Analysis
of the Russian Academy of Sciences»
117218, Moscow, Nakhimosky prosp., 36, korp. 1
E-mail: zarema_s@mail.ru, vcredko@gmail.com,

²Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of KBSC
of the Russian Academy of Sciences
360000, KBR, Nalchik, 37-a, I. Armand street
E-mail: zaliman@mail.ru

Построена и исследована компьютерная модель аренды сельскохозяйственных угодий в малом регионе. Предлагается прозрачный итерационный метод аренды сельскохозяйственных земельных участков агентами-землепользователями. Модель демонстрирует естественную динамику капиталов, ресурсов и производительностей землепользователей.

A computer model of rent of agricultural land in a small region have been constructed and investigated. Transparent iterative method for leasing agricultural land has been proposed. The model demonstrates the natural dynamics of capitals, resources and capacities of land users.

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

Keywords: rent of agricultural land, rental transparent market, competition.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопрос о частной собственности на землю в регионах, особенно малоземельных, стоит очень остро и вызывает множество дискуссий, поэтому задача эффективного использования механизма аренды сельскохозяйственных угодий очень важна. На данном этапе земельной реформы, проводимой в стране [1], для муниципалитета важно выгодно распределить имеющиеся участки между землепользователями-арендаторами, учитывая их экономические характеристики. В этом вопросе методы агент-ориентированного моделирования могут помочь оценить поведение реальных экономических агентов и выбрать эффективное направление развития арендных взаимоотношений [2].

При решении вопроса земельных отношений предлагаются различные подходы. Например, в работе [3] проводится сравнительный анализ эффективности различных механизмов распределения сельскохозяйственных угодий. В частности, исследуется эффективность *аукционных механизмов* для решения задачи первоначального распределения земли. Рассматриваются две концепции земельной реформы: *приватизация* и *аренда*.

В настоящей работе рассматривается упрощенное экономическое сообщество, состоящее только из *землепользователей* и *муниципального центра*, сдающего сельскохозяйственные земли в аренду, что позволяет построить и проанализировать модель достаточно четко. Работа является продолжением работы [4] по созданию и исследованию многоагентных моделей прозрачной экономики.

1. ОПИСАНИЕ 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.

Таким образом, модель включает в себя три сущности: *муниципальный центр*, *землепользователей* и *земельные участки*.

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.

Считаем, что в каждый период T имеется K свободных участков, которые должны быть распределены (т.е. сданы в аренду) между землепользователями. Распределение свободных участков происходит с помощью *итерационного процесса*. Для этого в начале каждого периода центр выставляет на конкурс имеющиеся свободные участки по одному. Каждый участок характеризуется своей производительностью k_i , $i = 1, \dots, K$. Производительность участков оценивается центром.

В конкурсе распределения участков принимают участие n землепользователей ($n \leq N$). Каждый землепользователь имеет определенный свободный капитал C_j , $j = 1, \dots, N$. Также землепользователь характеризуется величиной ежегодных арендных выплат Ar_j , $j = 1, \dots, N$. Эта величина увеличивается, если землепользователь берет в аренду новый участок.

На каждой итерации j -м землепользователем рассчитывается ожидаемая прибыль от i -го участка в текущем году:

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

где A_i – стоимость аренды i -го участка, функция $F(C)$ одинакова для всех конкурсантов, при моделировании полагалось, что $F(x) = x^2/(x^2 + a^2)$, где a – положительный параметр. На первой итерации $A_i = A_{i0}$, где A_{i0} – начальная стоимость аренды i -го участка, которая задается центром следующим образом:

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

где k_{arenda} – положительный параметр, k_i – производительность участка. Обычно мы считали, что производительность участка k_i равна его кадастровой стоимости, а параметр $k_{arenda} = 0.03$; 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.

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 $k_{sum,j}$:

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

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. Для проверки активности 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. И землепользователь намечает новую арендную плату за участок, которую готов платить: ту, которую назначил центр, плюс небольшая доля, пропорциональная ожидаемой прибыли:

$$A_{ji} = A_i + d Pr_{ji} , \quad (4)$$

где d – коэффициент увеличения аренды землепользователями ($d > 0$). Планируемые значения арендной платы A_{ji} землепользователь сообщает в центр.

Центр, получив информацию о размерах арендной платы, выделяет землепользователя, который готов заплатить за аренду больше других, и намечает *новую цену* аренды, равную этой максимальной предложенной землепользователями аренде. Очевидно, что больше всех готов заплатить тот

арендатор, у которого больше всего свободного капитала C_j и достаточно относительного ресурса $R_{relative,j}$ для обработки нового участка.

После этого центр сообщает потенциальным арендаторам *новую арендную цену* за участок и итерации повторяются. Землепользователи снова рассчитывают ожидаемые прибыли, определяют свою активность, намечают новую цену аренды и сообщают ее в центр. При этом цена аренды для выбранных землепользователями участков в следующих итерациях увеличивается, так как согласно (4) землепользователи намечают все большую и большую величину аренды. Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока число итераций t не достигнет максимально допустимого значения t_{max} .

Центр назначает арендатора, который на последней итерации предлагает наибольшую цену за участок. Его свободный капитал C_j 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 ($R_{relative,j} = R_j / k_{sum,j}$).

После того, как центр определил победителя конкурса для какого-либо участка, этот победитель может принимать участие в дальнейшем конкурсе, но уже с новыми значениями свободного капитала C_j и относительного ресурса $R_{relative,j}$. Аналогичным образом центр выставляет на конкурс все оставшиеся участки, свободные в данном периоде T .

В конце периода 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. Рассчитывается суммарная прибыль центра от аренды всех участков:

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

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 $k_{decrease} = 0.9$). Часть этих расходов можно рассматривать и как учет инфляции.

Кроме этого, считается, что в течение периода ресурс каждого землепользователя R_j случайно немного варьируется. Характерная величина вариации ресурса равна ΔR .

2. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

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

- количество периодов: $T = 100$,
- максимальное количество итераций в каждом периоде: $t_{max} = 1$ или $t_{max} = 10$,
- общее количество участвующих в распределении земельных участков землепользователей: $n = N = 10$,
- количество свободных каждый год участков: $K = 5$,
- параметр функции прибыли $F(x)$: $a = 0.3$,
- порог прибыли, при превышении которого землепользователь готов брать в аренду землю: $Th_{Pr} = 0.5$,
- 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_{i0} центром: $k_{arenda} = 0.03$.

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 суммарного среднего капитала землепользователей от времени (номера периода T) для разных значений максимального числа итераций t_{max} . Результаты представлены на рис. 1. Кривые соответствуют случаям $t_{max} = 1$ и $t_{max} = 10$.

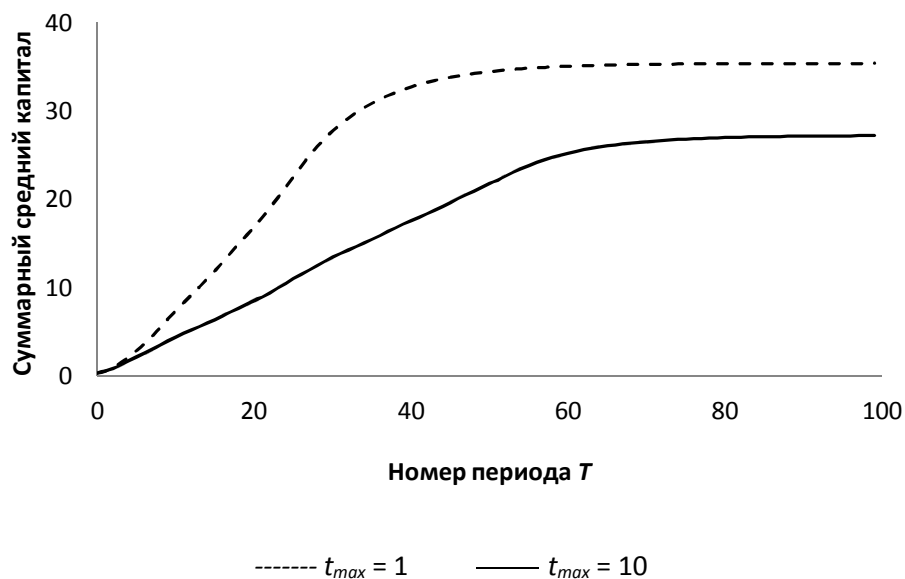


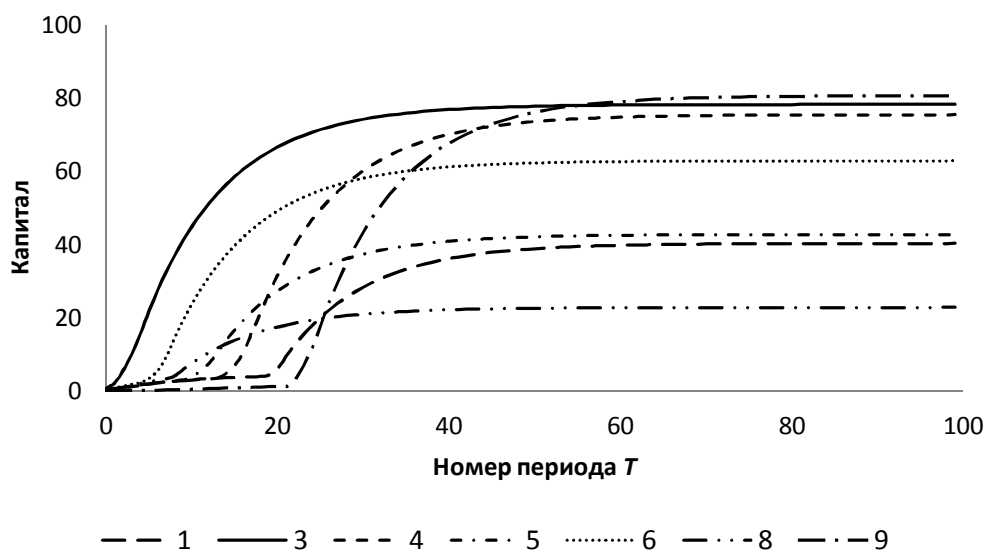
Рис. 1. Зависимость суммарного среднего капитала землепользователей от времени (номера периода T) при разных t_{max}

Следует отметить, что случай $t_{max} = 1$ соответствует закрытому аукциону первой цены, который является основным механизмом осуществления государственных закупок и размещения государственных контрактов в России в настоящее время. Видно что, этот вариант для арендаторов более предпочтителен, так как при этом прибыль у них больше. При $t_{max} = 10$ больше будет бюджетная эффективность, так как при итерациях

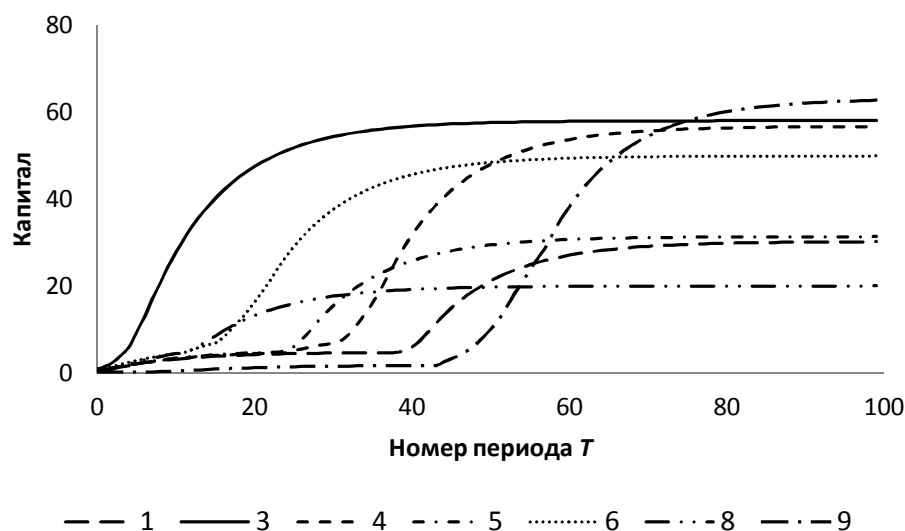
согласно выражению (4) арендная плата увеличивается, и центр получает больше прибыли. Механизм распределения земельных участков можно выбирать, исходя из ситуации на рынке аренды земельных угодий. В частности, для исследуемой модели, в случае, когда конкуренция на землю велика, центру выгоднее использовать механизм с итерациями.

Рассматривалась динамика капиталов и суммарной производительности участков для разных землепользователей. На рис. 2 представлены зависимости капиталов землепользователей от номера периода. 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.

Анализ расчетов показывает, что сначала землепользователям не хватает капитала, чтобы получить достаточную прибыль, превышающую порог $Th_{Pr} = 0.5$, но с течением времени они используют уже имеющиеся в их распоряжении участки и получают при этом прибыль. Их капиталы растут, и некоторые землепользователи получают возможность арендовать новые участки.



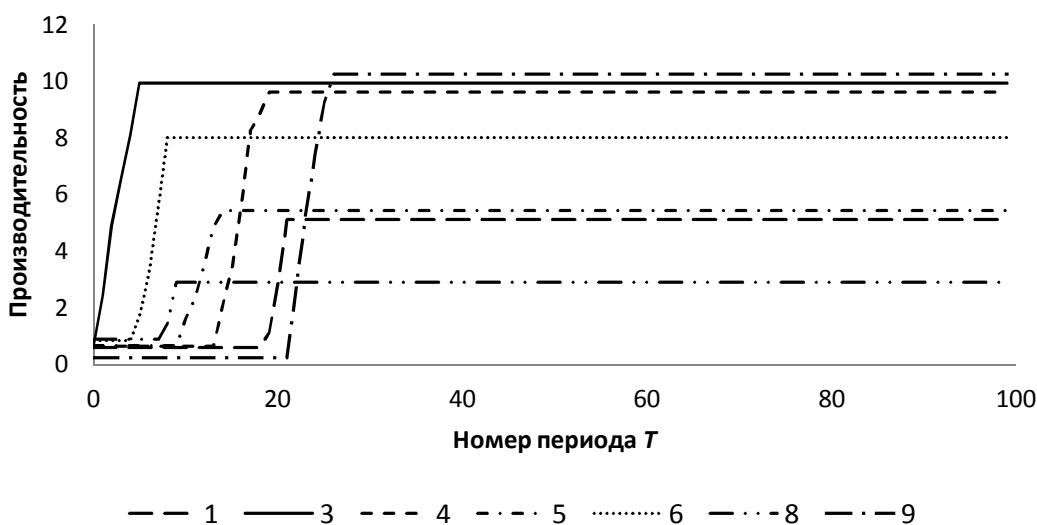
а) количество итераций $t_{max} = 1$



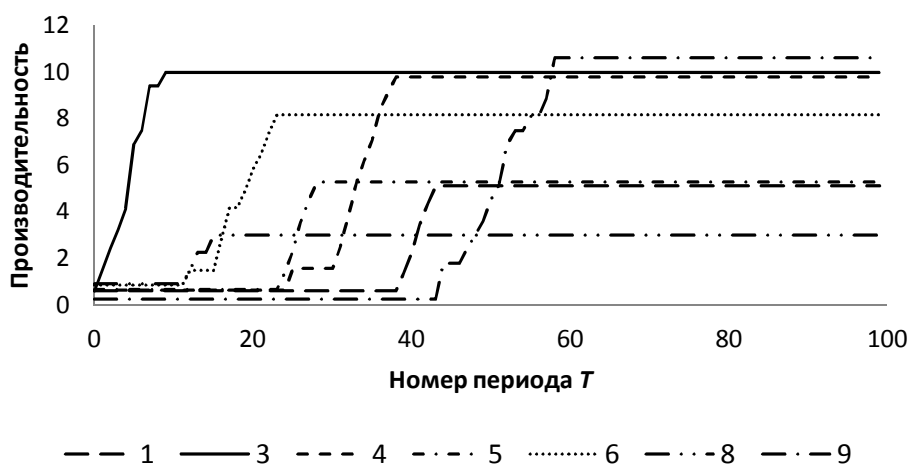
б) количество итераций $t_{max} = 10$

Рис. 2. Зависимости капиталов землепользователей от номера периода T (количество землепользователей, участвующих в конкурсе, $n = 10$, цифрами 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9 обозначены номера землепользователей, землепользователи под номерами 0, 2, 7 не представлены, так как их ресурс не позволяет им участвовать в конкурсе)

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. 3 показывает динамику суммарной производительности $k_{sum,j}$ для каждого землепользователя при $t_{max} = 1$ и $t_{max} = 10$.



а) количество итераций $t_{max} = 1$

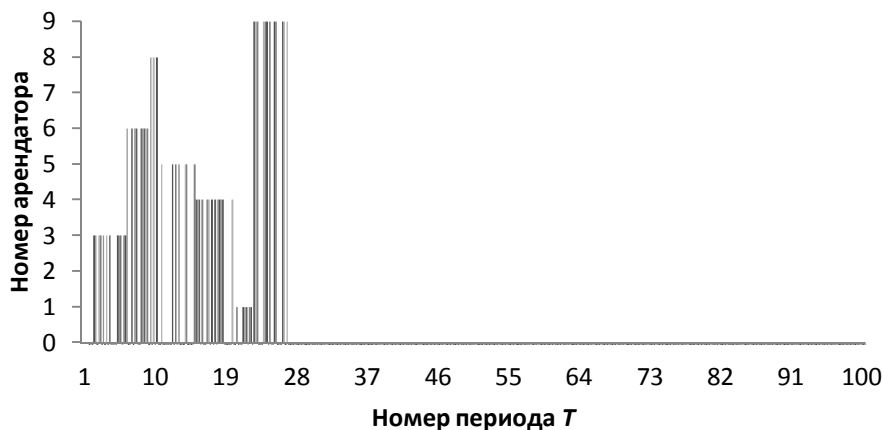


б) количество итераций $t_{max} = 10$

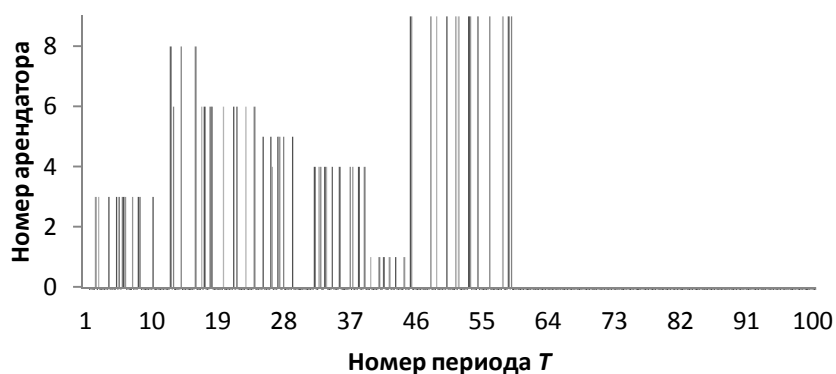
Рис. 3. Динамика суммарной производительности для каждого землепользователя (количество землепользователей, участвующих в конкурсе, $n = 10$; цифрами 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9 обозначены номера землепользователей, землепользователи под номерами 0,2,7 не представлены, так как их ресурс не позволяет им участвовать в конкурсе)

Различная динамика производительностей на рис. 3а и 3б обусловлена тем, что при использовании итераций в модели стоимость арендной платы увеличивается постепенно от итерации к итерации, и землепользователям требуется время, чтобы накопить капитал для оплаты аренды.

На рис. 4 видно, что при $t_{max} = 1$ сделки аренды заключаются чаще в начале моделируемого процесса (при сравнительно небольших T). Если же участок разыгрывается на аукционе с повышением цены (с итерациями), то сделки совершаются реже. Общее количество успешных сделок аренды на всем периоде исследования при $t_{max} = 1$ составляет 67, а при $t_{max} = 10$ успешны 68 сделок.



а) количество итераций $t_{max} = 1$



б) количество итераций $t_{max} = 10$

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

Исследовалась также зависимость прибыли центра от времени. На рис. 5 видно, что прибыль центра сначала растет, так как землепользователи активно арендуют землю, когда же относительный ресурс землепользователей становится меньше порога, прибыль становится постоянной.

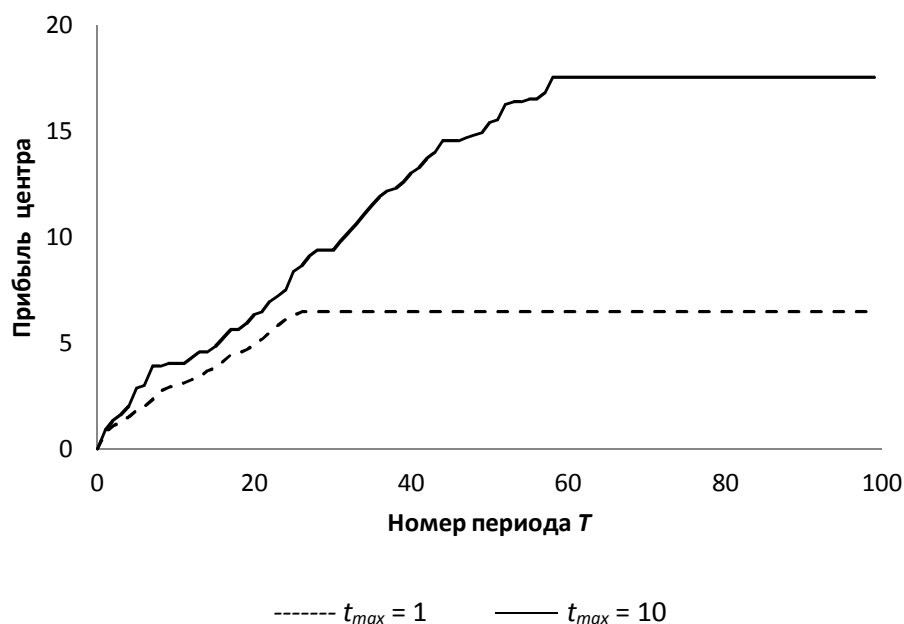


Рис. 5. Зависимость прибыли центра от времени (номера периода T)

Вполне естественно, что при использовании итераций, прибыль центра значительно выше. Используя этот результат, можно принимать решение о том, какой механизм аренды – аукцион первой цены ($t_{max} = 1$) или аукцион с повышением цены ($t_{max} > 1$) лучше использовать в том или ином регионе. Например, в малоземельном регионе, где высокая конкуренция, аукционы с повышением цены более выгодны для муниципального центра.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, построена многоагентная модель взаимодействия центра и землепользователей 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буздалов И.Н. Опыт и результаты аграрных реформ в Китае и России // АПК: экономика и управление. 2014. № 12. С. 3-18.
2. 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.
3. Гуртуев А.О., Деркач Е.Г., Иванов З.З., Нагоев З.В. Моделирование поведения экономических агентов на локальных рынках с информационной асимметрией. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. 2010. 116 с.
4. Редько В.Г., Сохова З.Б. Многоагентная модель прозрачной рыночной экономической системы // Труды НИИСИ РАН. 2013. Т. 3. № 2. С. 61-65.