

С.Н. Боранбаев, Д.А. Саранча, Р. Таберхан, Р.В. Тращев

Применение комбинированного метода для создания математических моделей биогеоценозов различных регионов казахстана (индивидуально ориентированные модели)

*(Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, г.Астана,
Вычислительный Центр Российской Академии Наук, г.Москва)*

Рассматривается подход, опирающийся на моделирование поведения отдельных особей популяции и получения на этой основе динамики популяции. При таком подходе все особенности отдельных особей могут быть учтены при построении моделей жизненных процессов, в которых они участвуют. Количество параметров модели резко возрастает, позволяя при построении или последующей коррекции математической модели учитывать имеющиеся экспериментальные данные практически в полном объеме.

Индивидуально ориентированные модели

Класс индивидуально-ориентированных модели был естественным продолжением предложенных ранее подходов. Схематически эволюция моделей показана на рис. 1. Развитие моделей шло по пути все большей детализации. От моделей, описывающих биосферные процессы, осуществлялся переход к моделям экосистем и популяций.

Логичным завершением процесса детализации описание является построение модели, учитывающей свойство отдельной особи.

Выше были описаны модели, в которых не учитываются половые, генетические и другие характеристики особей, распределение их в пространстве, миграции и социальные аспекты поведения. Альтернативный подход опирается на моделирование поведения отдельных особей популяции и получения на этой основе динамики популяции. При таком подходе все особенности отдельных особей могут быть учтены при построении моделей жизненных процессов, в которых они участвуют. Количество параметров модели резко возрастает, позволяя при построении или последующей коррекции математической модели (см. ниже) учитывать имеющиеся экспериментальные данные практически в полном объеме.

Индивидуально-ориентированный подход реализует следующий шаг в этих исследованиях – переходит на уровень детализации, позволяющий оперировать данными об отдельной особи. Такой шаг является вполне естественным, не случайно первые исследования, которые можно отнести к этой области, относятся к 60-м годам XX века. С начала 80-х годов индивидуально-ориентированное моделирование выделилось в отдельное направление популяционного моделирования.

Индивидуально-ориентированная модель может учитывать: *эколого-физиологические* свойства особей; особенности взаимодействия особей (*социальные механизмы*); влияние на их поведение *окружающей среды* (в том числе пространственных особенностей ареала); *сезонные факторы*.

Учет этих механизмов осуществляется посредством введения в модель

параметров, характеризующих их с количественной точки зрения. Первый шаг при построении индивидуум-ориентированной модели – определение набора характеристических параметров, которые будут учитываться в модели. Динамика индивидуума определяется набором поведенческих правил, определяющих поведение индивидуума, взаимодействующего с окружающей средой и/или другими индивидуумами.

Набор характеристических параметров, и вид правил определяется спецификой моделируемого объекта, поставленной задачей, и предпочтениями разработчика. Естественно, ни одна модель не может описать исследуемый объект во всем его многообразии. Модель учитывает ограниченный набор аспектов моделируемого явления. Конкретный набор механизмов и свойств, учитываемых моделью, может выбираться в каждом конкретном случае в зависимости от объекта и целей исследования. Этот выбор затрудняется тем, что зачастую вклад тех или иных механизмов, действующих в природе, в результирующую динамику популяции на начальном этапе исследований неочевиден. Это приводит к тому, что строятся модели, в которых присутствует описание большого количества различных механизмов, действующих в природе, отслеживается динамика множества характеристических параметров.

Несмотря на все многообразие процессов, которые происходят в природе, все эти процессы можно разделить на три основных типа - процессы преобразования *энергии*; *вещества* и *информации*. Эти три вида процессов тесно взаимосвязаны между собой. Большинство современных индивидуум-ориентированных моделей (ИОМ) содержит описание процессов всех трех типов.

Схематически комплекс факторов, существенных для анализа биофизических механизмов, формирующих динамику численности, показан на рис. 2.

В модели необходимо было учитывать:

- эколого-физиологические свойства особей
- особенности взаимодействия особей
- влияние на их поведение окружающей среды (в том числе пространственных особенностей ареала)
- сезонные факторы

– В процессе решения поставленной задачи важно было придерживаться технологии моделирования, сложившейся в результате многолетнего опыта построения и анализа математических моделей. Опыт моделирования тундровых объектов показал эффективность комплексных исследований и создания наборов моделей: детальных и упрощенных.

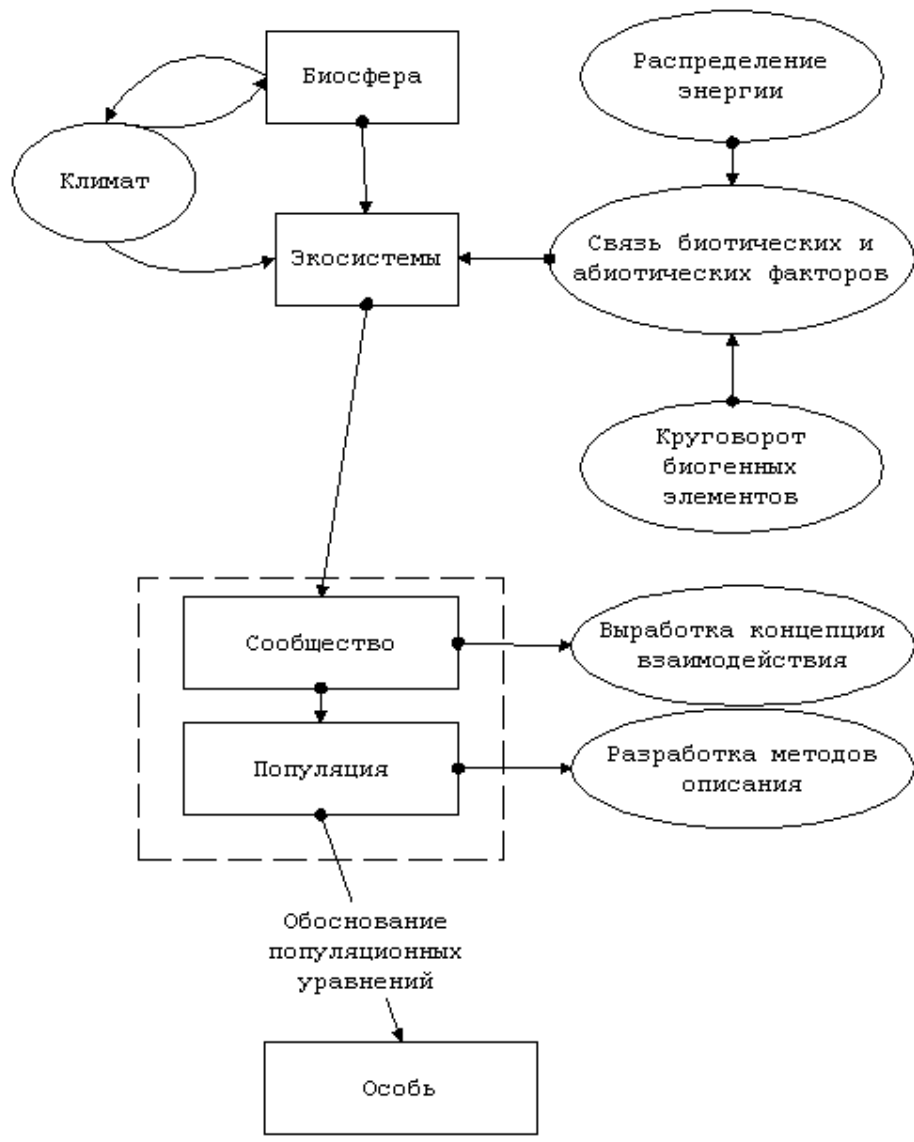


Рисунок 1. Эволюция моделей.

Основные этапы исследования, производимого с использованием этой технологии, отражены на рис.3. Изначально выбирается объект моделирования и задача, для решения которой будет использована модель, а также способы проверки адекватности модельного описания реального объекта. В данной работе для этого были использованы данные о численности популяции леммингов, зарегистрированной на острове Врангеля. Соответственно, объектом является экосистема лемминг-растительность, а задачей - изучение колебаний численности и механизмов их формирования. Затем определяются методы моделирования и структура модели.

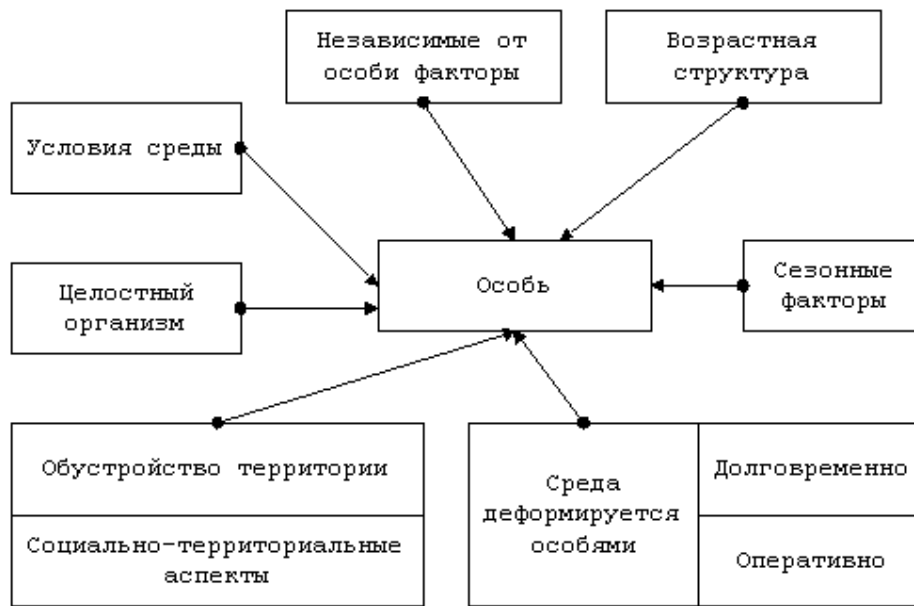


Рисунок 2. Свойства особи.

Для учета пространственных аспектов был выбран аппарат клеточных автоматов, изменение состояния особи и участков ареала описывается с помощью разностных уравнений.

Следующий шаг - построение имитационной модели и итерационная процедура ее модификации на основе вычислительных экспериментов с этой моделью. Однако имитационные модели достаточно громоздки и требуют больших объемов вычислений. Более удобным инструментом анализа являются аналитические модели. Исследования полученной имитационной модели позволяют строить и обосновывать упрощенные аналитические модели для решения данной задачи.

В качестве упрощенной модели предполагалось использовать так называемую функцию последования, связывающую численность популяции в конце некоторого периода времени с численностью в начале периода. Анализ дискретного отображения, которое задается функцией последования, позволяет исследовать динамику численности, устойчивость циклов ее колебаний.

Таким образом происходит создание набора взаимосвязанных моделей (имитационных и аналитических). После этого становится возможным количественный анализ явлений. Исследование комплекса моделей также помогает распознать ведущие механизмы, управляющие поведением моделируемой системы.

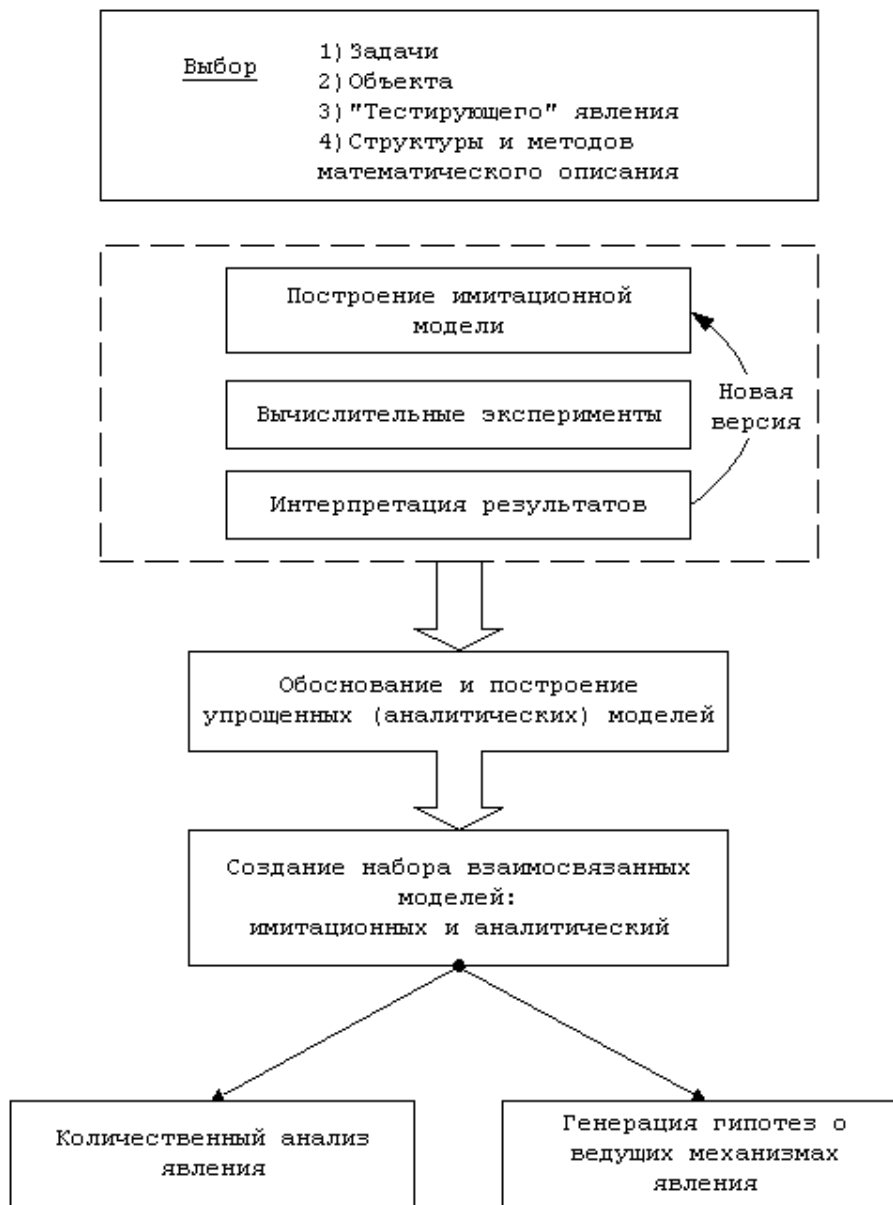


Рисунок 3

Объект моделирования

Модели популяции леммингов рассматривались в работах [1,2]. В предложенной модели мы описываем свойства отдельной особи, а не свойства популяции в целом, как это делалось в указанных выше работах. Данная модель позволяет получить характеристики популяции в целом, опираясь на свойства отдельной особи.

В качестве объекта применения ИОМ выбрана популяция копытных леммингов (*Dicrostonyx torquatus chionopyges*) Западного Таймыра, для которых характерны достаточно регулярные колебания численности с периодом в три года. В модели лемминги описываются возрастом, полом, координатами норы, стадией развития, потенциалом жизнестойкости. Последний -

представляет собой некоторую переменную с областью изменения от нуля до единицы, которая описывает физиологическое состояние особи и изменяется при различных процессах (см. ниже). Если значение потенциала достигает нулевого значения, особь гибнет.

Вводятся три стадии развития для самок – неполовозрелые, половозрелые небеременные и половозрелые беременные и две – для самцов – неполовозрелые и половозрелые. В течение жизни лемминги участвуют в следующих процессах и событиях: движение, питание, переваривание пищи, поиск норы, столкновения с другими особями, беременность и вынашивание потомства, рождение потомства, рост, смерть.

Было рассмотрено несколько модификаций модели. За базовую принята модель из работы [3], которую будем называть M_1 . Кроме того, рассмотрены ее модификации, рассмотренные в работах [4] и [5]. Эти модификации будем называть M_2 и M_3 , соответственно.

Пространство моделируется прямоугольной таблицей. Состояние каждой клетки таблицы описывается величиной ресурса, и списком особей, находящихся в данной клетке. Все пространство поделено на квадраты, которые называются индивидуальными участками самок. В центре каждого из них имеется нора, которая в каждый данный момент может быть либо занята самкой, либо свободна. Индивидуальный участок у самцов больше, чем у самок. В модели принято, что такой участок равен четырем смежным участкам самок [3], а нора самца расположена в центре его индивидуального участка. Передвигаться животные могут по всей расчетной области, но использовать норы только в некоторой области расселения. Она выбрана в виде полосы, симметричной относительно вертикальной оси симметрии области. В начальный момент часть нор в этой полосе заполняется животными в соответствии с некоторой случайной процедурой. Некоторым случайным образом в начальный момент задаются и положения особей, и другие параметры, характеризующие их свойства и состояние.

В модели год разделен на два периода: период размножения и период перезимовки. (В привязке к условиям на полуострове Таймыр период размножения принят с 1 февраля по 31 августа.) Время в течение суток разбивается на два периода – активный и пассивный. Передвигаться особи могут только в активный период и при наступлении чувства голода.

Направление движения на каждом временном шаге выбиралось в разных версиях модели по-разному: случайно (M_1), туда где наилучшие кормовые условия (M_2), или в наиболее «благоприятную клетку», исходя из наличия кормового ресурса и количества особей в соседних ячейках (M_3). Двигаясь в поисках пищи, особь сталкивается с другими особями популяции. Такая встреча имеет место всякий раз, когда две или более особей одного пола оказываются в одной ячейке за время одной итерации. В модели M_1 рассматривался случай, когда на одном участке могут столкнуться только две случайно выбранные особи, а остальные – разбегаются. В двух других модификациях модели полагали, что в столкновении участвуют все особи. Каждая такая встреча порождает уменьшение потенциала жизнестойкости

участников. Величина этого уменьшения зависит от стадий развития обоих участников и задается матрицей взаимодействия размером 5×5 . В период размножения при столкновении разнополых и половозрелых особей самка, способная к размножению, с некоторой заданной вероятностью беременеет. После столкновения потенциал столкнувшихся особей постепенно восстанавливается, и это восстановление прерывается только новой стычкой или родами. Потенциал жизнестойкости самки после родов уменьшается без последующего восстановления на некоторую заданную величину.

В модели M_3 рассмотрен механизм «элитарности». Он состоит в следующем – из всех особей, оказавшихся в одной ячейке, для каждого из полов, выделяется особь с наивысшим потенциалом жизнестойкости. Этим особям присваивается признак «элитарности». Выбор таких особей осуществляется на каждом такте. В процессе столкновения с другими особями их жизненный потенциал не изменяется. При кормлении они первыми реализуют свои потребности, остальные особи приступают к кормлению в порядке убывания величины жизненного потенциала. В период размножения могут спариваться только элитные особи.

Новорожденной особи присваивается некоторое начальное значение потенциала жизнестойкости. В течение заданного промежутка времени взросления потенциал возрастает, если не происходит столкновений с другими особями. Если гибнет кормящая самка, то вместе с ней погибает и все потомство. Новорожденные две недели не покидают нору, а, выйдя из нее в поисках пищи, начинают искать свободную нору и, найдя таковую, занимает ее. Если особь в течении первого выхода из материнской норы не находит свободную нору – она погибает. Наличие своей норы и достижение определенного возраста – это два условия перехода из неполовозрелой стадии развития в половозрелую.

Кроме указанных выше ситуаций, гибель особи происходит в трех случаях: 1) если особь достигла предельного возраста; 2) если значение потенциала жизнестойкости стало нулевым или отрицательным и 3) если самка принесла третье потомство [2].

В большинстве моделей восстановление ресурса происходило в соответствии с уравнением Ферхюльста (в период вегетации растительности). В базовой модели M_1 детального моделирования распределения кормового ресурса, его потребления и воспроизводства не производилось. Считалось, что кормового ресурса достаточно до тех пор, пока численность популяции не превышает заданного максимального значения, которое зависит от сезонного периода. Если численность популяции превышает максимальное значение, возникает «бескормица», во время которой потенциал жизнестойкости каждой особи равномерно уменьшается до момента, когда численность популяции снизится до величины «нижнего порога».

Рассмотрим результаты моделирования с базовой версией модели [3] - модель M_1 . В результате проведения вычислительных экспериментов удалось воспроизвести характерные для Западного Таймыра колебания

численности, с чередованием пиков численности через три года. Типичная зависимость численности популяции от времени показана на рис.4 (при других начальных псевдослучайных числах значения численности популяции между максимумами и в них могут отличаться, но период остается тем же). Резкое падение численности до точки 1 и после точки 6 и аналогичным им в других периодах – результат гибели животных во время бескормицы.

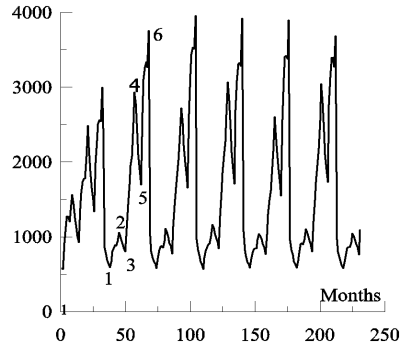


Рисунок 4

Особый интерес представляют функции распределения особей популяции по возрасту и потенциалу жизнестойкости. Эти распределения в моменты времени, обозначенные на рисунке 4 цифрами 1, 2, 3 и 4, 5, 6, приведены на рис.5а и 5б соответственно. Графики верхних рядов иллюстрируют распределения особей по возрасту (вдоль оси абсцисс отложен возраст в месяцах), а нижних – распределения особей по потенциалу.

Динамика распределения леммингов по пространству показана на рисунках 6 и 7 для первого и шестого моментов времени. Резкое различие в расселении самок и самцов связано с тем, что в рассматриваемой модели линейный размер индивидуальный участок самца в два раза больше участка самок. На рис.6 показана динамика расселения для случая, когда число возможных нор самцов и самок одинаково, а на рисунке 7 для случая, когда самцы и самки могут селиться только в одной и той же области.

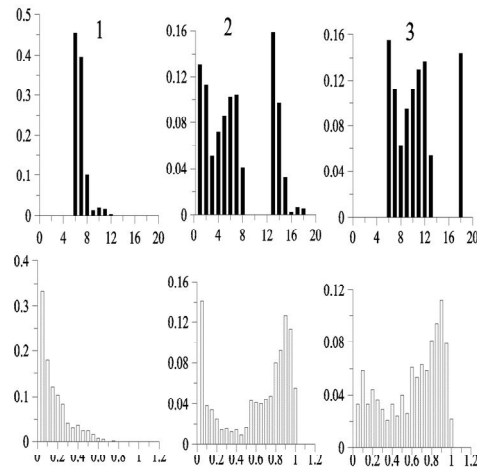


Рисунок 5,а

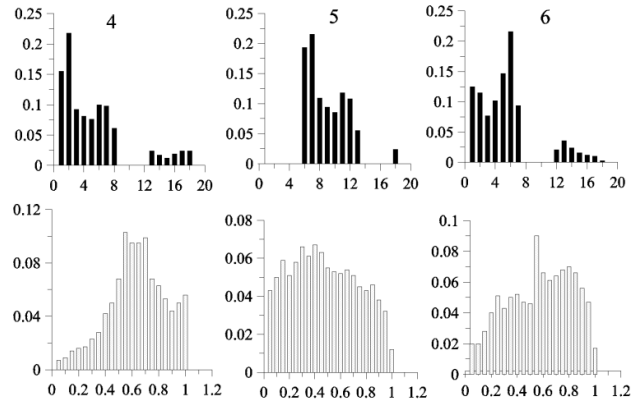


Рисунок 5,б

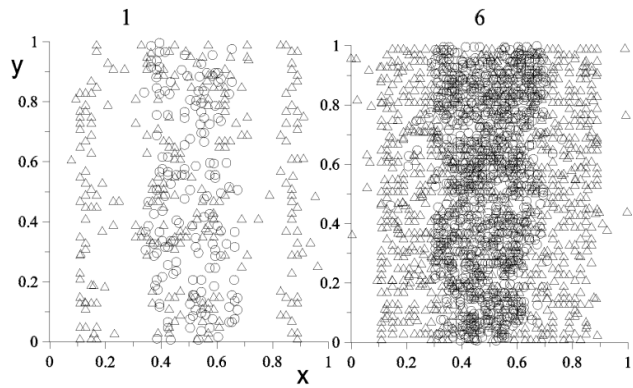


Рисунок 6

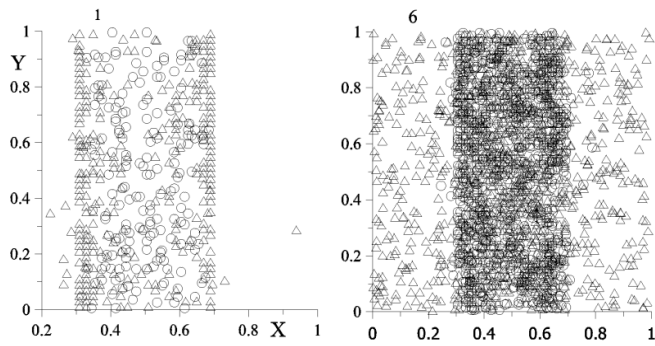


Рисунок 7

ЛИТЕРАТУРА

1. Саранча Д.А. Количественные методы в экологии. Биофизические аспекты и математическое моделирование. М.: МФТИ, 1997. 283 с.

2. Орлов В.А., Саранча Д.А., Шелепова О.А. Математическая модель динамики численности популяции леммингов (*Lemmus Dicrostonyx*) и ее использование для описания популяций Восточного Таймыра // Экология. 1986. №2. С. 43-51.

3. Перминов В. Д., Саранча Д. А. Об одном подходе к решению задач популяционной экологии // Математическое моделирование. 2003. №11. С.45-53.

4. Саранча Д.А., Сорокин П.А., Фролова А.А., Математическое моделирование динамики численности популяции животных. М.: ВЦРАН. 2005. 27 с.

5. Глушков В.Н., Недоступов Э.В., Саранча Д.А, Юферева И.В. Компьютерные методы анализа математических моделей экологических систем. М.: ВЦРАН. 2006. 74 с.

Боранбаев С.Н., Саранча Д.А., Таберхан Р., Трашеев Р.В.

Қазақстанның түрлі аймақтарында биогеоценоз математикалық моделдерін құру үшін аралас әдісті қолдану (арнайы бағытталған әдістер)

Мұнда популяцияның айрықша жекелеген іс-әрекетін моделдеуге және осы негізде популяцияның даму қарқынын алуға сүйенетін кейбір қырлар қарастырылады. Мұндай жағдайларда дара индивидтердің барлық ерекшеліктері өздері қатысатын тіршілік процесстері моделдерін құру кезінде есепке алынуы мүмкін. Модель параметрлерінің саны жедел артады, ол математикалық моделдерді құруға және келесі ретте түзетуге, тәжірибелік мағлұматтарды толық көлемде есептеуге мүмкіндік береді.

Boranbayev S.N., Sarancha D.A., Taberkhan R., Trasheev R.V.

Applying of combined methods for initiation of mathematical modeling of biogeocenosis in the different regions of Kazakhstan (individual oriented models)

In this article modeling conduct of special population and on the base of acquisition the population of evolution will be considered. In this case all peculiarities of individual scan be taken into consideration by modeling life processes which they take part in it. Quality of modeling parameters will be increased sharply, all owing the mathematical modeling of construction and correction in the experimental data in the complete capacity.