

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВОСПРОИЗВОДСТВА НАСЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ЕАО)

*Г.П. Неверова, О.Л. Ревуцкая*

*Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, г. Биробиджан*

Анализ демографической динамики регионов осуществляется в основном статистическими административными структурами, при этом существующие возможности математического моделирования, как правило, не используются. Однако большинство математических моделей, направленных на описание демографической динамики, в явной или неявной форме включает в себя параметры, характеризующие процесс воспроизводства, поскольку изменение численности населения зависит в первую очередь от интенсивности рождаемости, смертности и миграции.

В данной работе проведен анализ динамического процесса воспроизводства на основе коэффициентов простейших моделей популяционной динамики. Коэффициенты моделей Мальтуса, Ферхюльста, Бивертон-Холта, Рикера [2] оценивались на основе статистических данных одного из регионов России – Еврейской Автономной области. В данном случае применение совокупности моделей позволяет получить оценки характеристик процесса воспроизводства, сложившегося на территории области.

Для оценки интенсивности реального годового воспроизводства воспользовались дискретным аналогом модели Мальтуса:

$$x_{n+1} = a \cdot x_n$$

где  $x$  – численность населения,  $n$  – номер года, параметр  $a$  характеризует процесс годового воспроизводства, включая миграционный баланс. В соответствии с оценкой мальтузианский параметр меньше единицы ( $a=0,98$ ), это означает, что население на территории ЕАО характеризуется суженным процессом естественного воспроизводства, то есть современное поколение детей не вполне замещает поколение родителей количественно. В случае сохранения характеристик процесса воспроизводства, а именно приоритета убыли населения над его пополнением, модель Мальтуса предсказывает дальнейшее уменьшение численности населения области. Однако повышение рождаемости на 0,02% приведет к простому типу воспроизводства, что вероятно позволит удержать общую численность населения ЕАО на стабильном уровне.

Для получения оценки интенсивности реального годового воспроизводства мы воспользовались модифицированным вариантом модели Мальтуса:

$$x_{n+1} = s \cdot x_n + m,$$

где параметр  $s$  характеризует процесс годового воспроизводства, а параметр  $m$  интенсивность годового иммиграционный потока. Равновесное значение численности определяется по формуле  $K = m/(1-s)$ .

В соответствии с оценкой коэффициент, характеризующий процесс годового воспроизводства меньше единицы ( $s=0,95$ ), что отражает тенденцию снижения численности населения. Следовательно, за счет отрицательных значений в демовоспроизводственном процессе ЕАО ежегодно теряет до 0,05% всего населения. Однако за счет иммигрантов, количественно оцениваемых в 6,7 тысяч человек ( $m=6,7$ ), численность области поддерживается и в среднем ежегодно пополняется на 6,5 тысяч. Миграционное пополнение не покрывает потерю населения в 0,05%, поэтому снижение численности, начавшееся в 1992 г., продолжается до сих пор. С другой стороны численность населения определяется балансом между процессами воспроизводства и миграцией, что обеспечивает существование равновесного значения численности, которое оценивается в 150 тысяч человек. Данная оценка является прогнозной величиной, определяющей ожидаемые значения численности в среднесрочной перспективе. Следовательно, в ближайшем будущем предполагается снижение численности населения ЕАО с последующим выходом на указанное равновесное значение.

Для оценки социально-экономических характеристик, оказывающих влияние на изменение численности населения, использовали дискретный аналог модели Ферхюльста.

$$x_{n+1} = r \cdot x_n - s \cdot x_n^2$$

где  $r$  – максимальная потенциальная скорость роста, которую достигло бы население в отсутствии лимитирующих факторов,  $s$  – коэффициент, характеризующий воздействие лимитирующих факторов.

По полученным оценкам параметров максимальная потенциальная скорость роста населения, включая миграцию, составляет 1,145, то есть при отсутствии лимитирующих факторов на каждую женщину репродуктивного возраста должно приходиться не менее 2 детей. Коэффициент самолимитирования населения на территории ЕАО составляет 0,0000008 и отражает снижение скорости роста человеческой популяции. Равновесное значение численности по модели Ферхюльста оценивается в 181 тыс. человек (рис. 1).

Для описания годичного изменения численности населения использовалась модель Бивертон-Холта.

$$x_{n+1} = \frac{a \cdot x_n}{1 + c \cdot x_n},$$

где параметр  $a$  определяет репродуктивный потенциал населения, а параметр  $c$  характеризует интенсивность конкурентных взаимоотношений в человеческой популяции.

Величина  $M = a/c$  - максимально возможное значение численности населения. Равновесное значение численности определяется по формуле  $K = (a-1)/c$ .

Репродуктивный потенциал населения составляет 1,09, интенсивность конкурентных взаимоотношений 0,0000005, а равновесное значение численности – 171 тыс. человек. Поскольку оценка стационарной численности меньше фактической численности населения в последний год (186,5 тыс. чел.) то можно ожидать «естественное» снижение численности (рис.1). Максимальная модельная численность, которая возможна на территории области, в соответствии с моделью Бивертон-Холта, оценивается в 2 млн. человек (плотность населения).

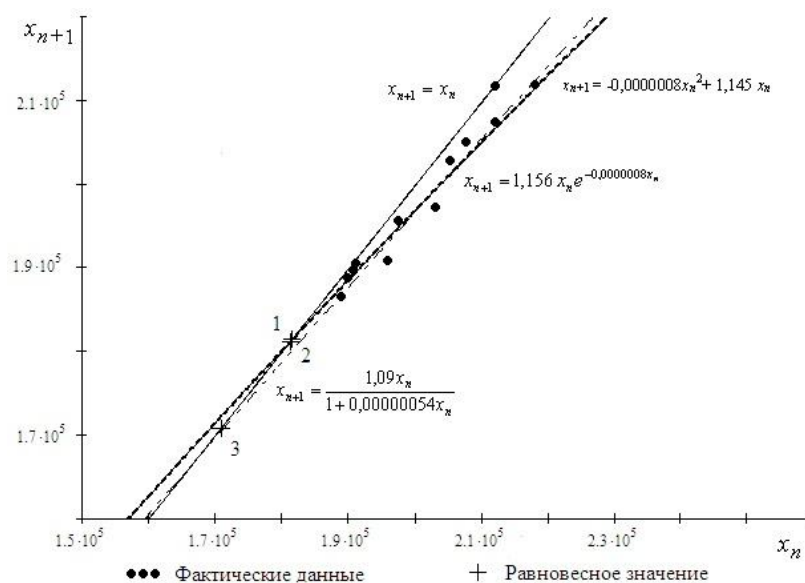


Рис1. - Модельные и фактические значения численности населения ЕАО; равновесные значения, соответствующие моделям Бивертон-Холта (3), Рикера (2), Ферхюльста (1).

В случае увеличения интенсивности конкуренции более адекватной оказывается модель Рикера:

$$x_{n+1} = a \cdot x_n \cdot e^{-b \cdot x_n},$$

где параметр  $a$  - репродуктивный потенциал популяции, параметр  $b$  определяет характер развития популяции. Равновесное значение численности определяется по формуле  $K = (\ln a)/b$ .

Скорость годового воспроизводства населения в отсутствии лимитирования по модели Рикера оценивается в 1,156. Полученное значение параметра, характеризующего развитие популяции, совпадает со значением для модели Ферхюльста (0,0000008). В соответствии с полученными значениями параметров максимально возможная численность населения на территории ЕАО по модели Рикера составляет 530 тысяч человек. Однако наибольшая численность области за исследуемый период составляет 220 тысяч человек, то есть максимально возможная численность населения, которая могла бы

устойчиво существовать на территории ЕАО, еще не достигнута [1]. Равновесное значение численности по модели Рикера около 180 тысяч человек (рис.1).

Модели Ферхюльста, Бивертон-Холта и Рикера описывают схожие сценарии развития динамики численности населения ЕАО (рис.1). Численность в соответствии с модельными кривыми уменьшается, стремясь к равновесному значению. Стационарные значения численности на рисунке показаны точками пересечения модельных графиков и биссектрисы первого координатного угла (рис.1). Равновесная численность для этих моделей лежит в диапазоне 170,5 – 181,5 тыс. человек. Поскольку фактическое значение численности населения ЕАО в последний год выше стационарных значений, то можно предположить дальнейшее снижение численности.

Таким образом, анализ процесса воспроизводства ЕАО на основе простейших математических моделей показал:

- При некоторой стабильности общей численности населения ЕАО (значения коэффициента модели Мальтуса за весь период наблюдений близок к 1), в будущем предполагается снижение численности населения ЕАО с последующим выходом на стационарное значение, лежащее в диапазоне между 150 - 181,5 тыс. человек;

- Население ЕАО характеризуется суженным процессом воспроизводства, то есть современное поколение детей не вполне замещает поколение родителей количественно;

- В соответствии с модифицированной моделью Мальтуса миграционное пополнение населения оценивается в 6,7 тысяч человек;

- При сложившихся социально-экономических условиях жизни на территории области может существовать около 500 тыс. человек.

*Исследования проведены при поддержке Фонда содействия отечественной науке.*

*Авторы благодарят руководителя д.б.н., проф. Е.Я. Фрисмана  
за постоянное внимание и полезное обсуждение.*

#### Список литературы

1. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. – М.: Изд-во МГУ, 1980, - 464 с.
2. Фрисман Е.Я. Математические модели динамики численности локальной однородной популяции. - Владивосток: Дальрыбвтуз (технический университет), 1996. – 58 с.