

Касымова Р.О.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ НАРОДО НАСЕЛЕНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ С УЧЕТОМ КЛИМАТА

R.O.Kasymova

MATHEMATICAL MODEL OF POPULATION CHANGE IN THE REPUBLIC OF KYRGYZSTAN INVOLVING A CLIMATEFACTOR

УДК: 614.1:551.5

В работе рассматривается возможность моделирования демографической ситуации в Кыргызской Республике и ее регионах на уровне дифференциальных уравнений первого порядка. Показано, что кинетические коэффициенты модели связаны с численностью наличного, или постоянного населения, что приводит к модели стабильного населения.

The paper explore s th e possibility y of modeling the demographic situation in the Kyrgyz Republic and its regions using first-order differential equations. It is shown that kinetic coefficients are related to the number of the existing population or resident population, which results in a stable population model.

Изменение климата считается одной из самых больших угроз устойчивого развития мирового сообщества и бесспорно представляет серьезную проблему для развивающихся стран Центральной Азии. Многие страны уже приступили к реализации инновационных и прогрессивных мероприятий в сфере изменения климата с целью минимизации последствий климатических изменений и адаптации к ним, устойчивости в плане общегосударственного развития.

Для решения проблем, связанных с климатическими изменениями в условиях Кыргызской Республики необходимо усовершенствовать и объединить системы управления климатическими рисками:

- Природных и природно-техногенных катастроф, а также стихийных бедствий.

- Биоразнообразия, сказывающихся в горных экосистемах Кыргызстана.

- Особенности развития инфраструктуры в горных регионах страны.

- Человек и горы.

Для Кыргызской Республики все эти проблемы взаимосвязаны и выходят сегодня на одно из первых мест. Известно, что Кыргызстан – страна, три четверти которой занимают горы, т.е. территории с высокой степенью риска, очень узкой нишей выживания (дискомфортностью), а также с особой интенсивностью и уязвимостью протекающих здесь процессов.

На территории КР в последние годы частота стихийных бедствий, или чрезвычайных ситуаций,

имеет тенденцию к повышению, что связано с возрастающим влиянием природно-техногенных катастроф от стихийных бедствий (табл. 1). Отмечаемое нарастание частоты чрезвычайных ситуаций тесно увязывается с макро- и микро-особенностями изменениями климата, наблюдаемыми в последние десятилетия. Кроме того, динамика нарастания стихийных бедствий, связанных, к примеру, с селеопасностью, за 60-летний период наблюдений указывает на изменения гидрометеорологического режима на территории КР (рис. 1).

Таблица 1 – Количество чрезвычайных ситуаций со стихийными бедствиями в Кыргызской Республике за 20-летний период

Показатель	1991-2000	2001-2010
Сели	281	558
Паводки	109-	-
Оползни	156	168
Лавины	136	252
Землетрясения	113	201
Техногенные аварии	13	205
Прочие	130	146
Итого	906	1530

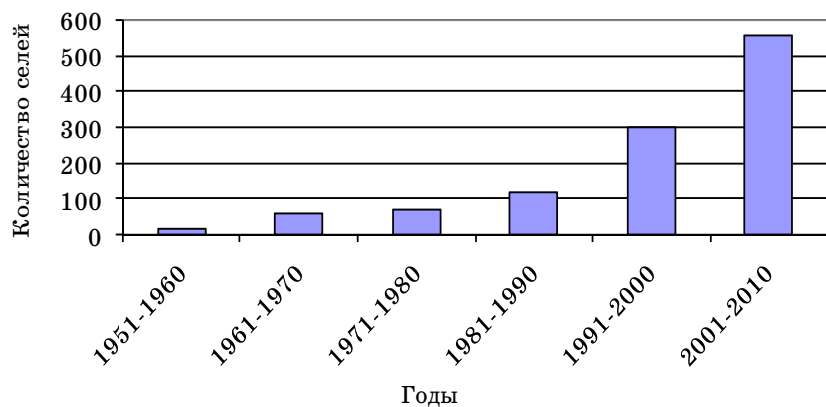


Рис. 1. Сели в Кыргызской Республике

Известно, что с климатом напрямую связана рождаемость и смертность населения, а в отдельных случаях сезонная инфекционная и неинфекционная заболеваемость [1,14].

С целью возможности моделирования, нами изучались показатели интенсивности демографического процесса, где были использованы статистические данные Нацстаткома [2].

Данные одемографической ситуации в Кыргызской Республике, в зависимости от климатогеографических и прочих особенностей рассматриваемых регионов страны, по показателям естественного движения населения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели естественного движения населения КР

Период, годы	Демографические процессы			
	Численность постоянного населения	Коэффициенты		Темп прироста населения, %
		Рождаемости	Смертности	
1991-1995	4421-4482	29,3-25,2	6,9-8,2	1,8-1,6
в среднем	4452	27,3	7,55	1,7
1996-2000	4543-4853	23,8-21,4	7,6-6,9	1,4-0,8
в среднем	4698	22,6	7,25	1,7
2001-2005	4908-5093	19,8-21,4	6,6-7,2	0,8-1,09
в среднем	5001	20,6	6,9	0,95
2006-2010	5189-5418	23,1-26,8	7,4-6,6	2,41-1,3
в среднем	5304	25	7,0	1,86
2011-2013	5478-5758	27,1-27,2	6,5-6,1	1,08-3,58
в среднем	5618	27,2	6,25	2,33

Результаты исследования по общему коэффициенту рождаемости в популяции населения КР показали, что в этот период произошло уменьшение на 27%. Однако, затем снижение сменилось относительным ростом к 2011-2013 гг., и рождаемость увеличилась почти до исходных величин. Уровень общей смертности на протяжении изучаемого периода носил волнообразный характер. Изменения показателей были соответственно: 1991-1995 гг. – 7,55; 1996-2000 гг. – 7,25; 2001-2005 гг. – 6,9; 2006-2010 гг. – 7,0; 2011-2013 гг. – 6,25. Известно, что одним из главных демографических показателей является естественный прирост, уровни которого могут быть получены при различных показателях рождаемости и смертности [3]. Вместе с тем, коэффициент депопуляции (КД), представляющий собой отношение количества умерших к количеству родившихся наглядно демонстрирует, насколько количество родившихся больше (меньше) количества умерших. Значение КД, равное изменению в числах умерших к родившимся, за анализируемый период было близко к 1.

Наряду с этим, нами произведен расчет интенсивности, или напряжения, демографического про-

цесса, на основании формулы [4]:

$$J = ((P_{t+\Delta t} - P_t)/P_t) * 100, \quad (1)$$

где P_t – вероятность события, или численность населения в момент времени t ;

$P_{t+\Delta t}$ – то же, но в период $t + \Delta t$.

В целом, введенный показатель J весьма чутко реагирует на изменения, происходящие в системе, какими являются процессы, связанные с естественным движением населения. Причем, как это видно из рис.2, интенсивность процесса рождаемости, в целом, носит затухающий характер. Возможно, в дальнейшем определится и стабилизация процесса, на каком-то определенном уровне и на каком-то периоде времени, где скорость процесса может быть равной нулю.

В прогностическом плане, для выявления особенностей, присущих каждой конкретной ситуации, немаловажное значение имеет математическое моделирование процессов, включая и демографические.

Такое моделирование осуществляется в основном на уровне дифференциальных или дифференциально-разностных уравнений. Достоинство таких моделей заключается в возможности, пользуясь «рецептом» Эйлера-Пуассона, определить функцию оптимального управления рассматриваемого процесса [5].

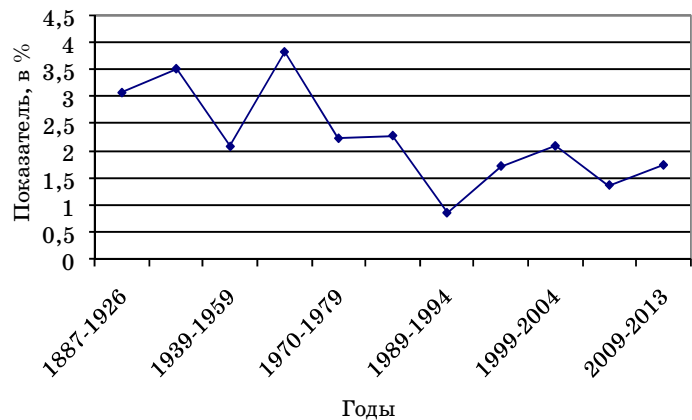


Рис.2. Интенсивность процесса рождаемости населения Кыргызской Республики

При этом моделирование демографических явлений по динамике народонаселения может быть произведено как минимум тремя моделями, которые необходимо идентифицировать в каждой конкретной ситуации [6-9]:

Модель «стабильного населения» описывается следующим дифференциальным уравнением (модель 1):

$$dN/dt = K * N \quad (2)$$

где $K = \alpha - \beta$

α – коэффициент рождаемости, β – коэффициент смертности.

Смысл коэффициента K , в данном случае – это некоторый коэффициент пропорциональности, связанный с естественным приростом населения. Решением данного уравнения, как известно, является простая экспонента.

Модель (1) в определенных случаях дополняют еще квадратичным членом, типа γN^2 – смысл которого, это влияние среды, или ее биологическая емкость, количество брачных пар. Полученная модель – 2 приводит к решению на уровне логистической функции, графиком которой является экспонента с затуханием процесса во времени, характеризующимся пологим участком [10]. Интересно отметить, что такую закономерность в росте народонаселения подметил еще в 1838 г. П.Ферхюльст. В начале 20 века, логистическая функция уже достаточно широко использовалась статистиками для прогнозирования роста народонаселения [11]. Логистическому уравнению подчиняется также заболеваемость населения, в возрастном аспекте [12].

Модели 3 типа - вероятностные, или имитационные, достаточно широко распространены, поскольку соприкасаются с так называемым и марковскими цепями, большей частью, с поглощающими состояниями.

Учитывая важность моделирования демографической ситуации, мы рассмотрели возможность нахождения и применения модели 1 по уравнению 2. Естественно, в данном случае, очень важен момент

численного определения коэффициента K и его зависимости от естественного прироста населения Кыргызской Республики и его регионов.

Вся работа была проведена в два этапа.

Первый этап - анализировалась динамика роста населения Кыргызской Республики в целом. Здесь мы нашли, что динамика может быть описана уравнением 2, но решением его является прямая линия (рис.3), т.е. уравнение 2 приобретает вид: $dN/dt=K$.

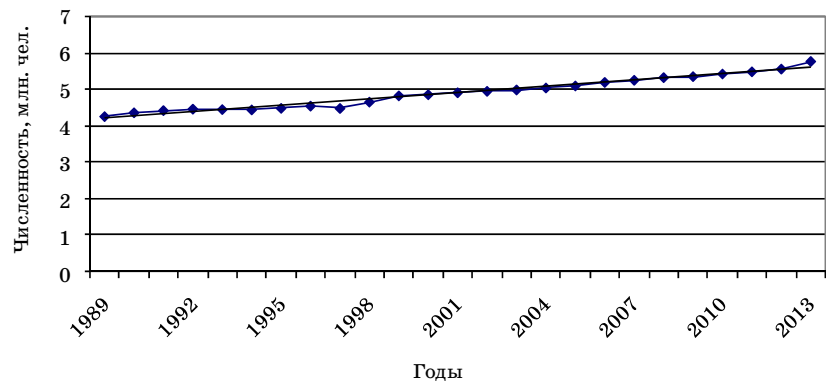


Рис.3. График роста населения Кыргызской Республики

Вторым этапом нашего анализа являлось выяснение зависимости коэффициента K от N – численности населения. Проведенная оценка на основе данных за период 1995-2013 гг. о численности населения и интенсивности развития процесса показала, что константы скорости, K , выбираемые из уравнений регрессии, рассчитанных на более или менее линейных участках графиков динамики роста в регионах, могут в логарифмических координатах линейно зависеть от численности населения (табл.4). График такой зависимости показан на рис.4.

Таблица 4 - Уравнения динамики роста населения Кыргызской Республики

Регион, город	Уравнение регрессии	K	$\ln K$	Среднее значение численности населения, тыс. человек, $N_{ср}$	$\ln N_{ср}$
Кыргызская республика	$N=57t+460$	57	4,04	5000	8,52
Баткенская обл.	$N=6t+348,3$	6	1,79	405	6,00
г. Баткен	$N=0,32t+19,4$	0,32	-1,14	17	2,83
Жалалабатская обл.	$N=14,7t+807$	14,7	2,69	945	6,85
г. Джалал-Абад	$N=1,67t+73,8$	1,67	0,51	88	4,48
Иссык-Кульская обл.	$N=3,06t+416,3$	3,06	1,12	433	6,07
г. Каракол.	$N=0,93t+61,85$	0,93	-0,07	69,2	4,24
Нарынская обл.	$N=0,89t+257$	0,89	-0,12	260	5,56
г. Нарын	$N=-0,29t+37^*$	-	-	69	4,23
Ошская обл.	$N=18,2t+1020$	18,2	2,90	1127	7,03
г. Ош	$N=1,82t+247$	1,82	0,60	232	5,45
Таласская обл.	$N=2,66t+195$	2,66	0,98	218,2	5,39
г. Талас	$N=0,16t+200^*$	0,16	-1,83	32,3	3,48
Чуйская обл.	$N=5,0t+748$	5,0	1,61	794	6,68
г. Бишкек	$N=11,3t+670$	11,3	2,42	793	6,68

Примечание: *Приведены гипотетические значения. t – время текущее, точка отсчета, 1995 г.

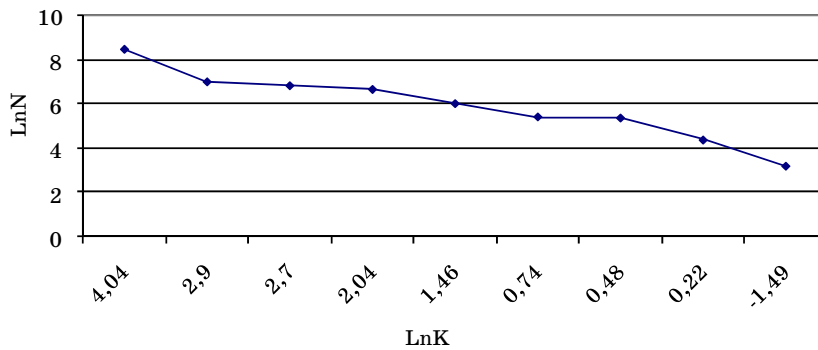


Рис. 4. Зависимость LnK-LnN

Отсюда нами получено следующее уравнение для прямой, показанной на рис. 4:

$$\text{LnN}_{\text{ср.}} = 1,056\text{LnK} + 4,25 \quad (3)$$

Из уравнения 3, потенцируя, находим уравнение 4:

$$\text{LnK} = 0,946 \text{LnN}_{\text{ср}} - 4,02, \quad (4)$$

Откуда получаем уравнение 5:
 $K = 0,018 \text{N}_{\text{ср}} * 0,946 \quad (5)$

Подставляя опять значение $K_{\text{в}}$ уравнение 2, но заменяя его разностным уравнением, получаем окончательное уравнение 6:

$$\Delta N/N = Kt = 0,018 t \quad (6)$$

Таким образом, для всех изученных регионов, на промежутке времени с 1995 по 2013 гг, изменение численности населения, теоретически, составляет около 1,8 %. Практически, для КР, оно находится на уровне 1,6-1,65%.

Наряду с этим, расчет, произведенный по уравнению 6, также показывает, что за 12 лет прирост населения КР, по модели «стабильного населения», может составить около 23%. Если принять данное допущение как прогностическое, то к 2025 г. население КР будет составлять 7059 чел, т. е. несколько завышенные значения, чем по линейной модели (6096 чел.) [1]. Причем удвоение наличного населения, с таким же темпом прироста, следует ожидать через 40 лет, то есть к 2053 г.

При прогнозировании более приемлемо, на уровне регионов, а возможно КР, использовать модели среднего роста, поскольку все факторы здесь взаимосвязаны, с учетом природно-климатических и социально-экономических рисков.

Кроме того, при рассмотрении поведения коэффициента K с ориентацией на южные и северные регионы мы получили следующую картину (табл. 5). Из которой видно, что скорость динамического процесса роста населения в климатогеографических условиях, к примеру, в южных регионах все же выше, чем в северных. А по городам, она колеблется

довольно неравномерно, что зависит, как уже указывалось выше, от количества населения, проживающего в этих населенных пунктах, и социально-экономических условий. В г. Бишкек численность населения выше, чем в остальных городах, в основном, за счет внутренней миграции. И это также накладывает своеобразный отпечаток на поведение скоростных характеристик процессов роста народонаселения.

Таблица 5 – Поведение кинетического коэффициента K в зависимости от климатогеографического местоположения региона

Местоположение региона	Южные регионы		Местоположение региона	Северные регионы	
	По области	По городу		По области	По городу
Баткенская обл.	6,0	0,32	Иссык-Кульская обл.	3,06	0,93
Жалалабатская обл.	14,7	1,67	Нарынская обл.	0,89	-0,29
Ошская обл.	18,2	1,82	Таласская обл.	2,26	0,16
			Чуйская обл.	5,0	11,3
В среднем	12,97	1,27	В среднем	2,80	3,03

Таким образом, поведение кинетических коэффициентов отражает определенные особенности демографических процессов, связанные, на наш взгляд, с расселением, условиями окружающей среды для жизни. По климатическим параметрам, можно показать, что сумма активных температур, от которых зависит урожайность и качество жизни населения, в южных регионах выше, чем в северных [13].

В целом, проведенный анализ, на уровне математической модели, еще нуждается в более глубоком изучении, с привлечением различных факторов – социально-экономических, эколого-гигиенических и других, где могут быть продемонстрированы различные позитивные преобразования с помощью инклюзивных, «зеленых» и климатически устойчивых решений.

Нельзя также исключать уровень развития

инфраструктуры регионов и городов с учетом их социально-экономического развития производства и доступности населения к качеству улучшения жизнеобеспечения, в особенности это касается тех или иных климатогеографических условий страны.

Выводы:

1. Моделирование динамики роста населения в Кыргызской Республике и ее регионах приводит к модели «стабильного населения», которая указывает на некоторую нелинейность процесса, причем, весьма слабую.

2. Полученная модель показывает, что кинетические коэффициенты, характеризующие параметры дифференциальной модели зависят от наличного (возможно, и постоянного) населения, его естественного прироста, но весьма приближенно.

3. Климатические условия, складывающиеся в регионах страны, в целом, влияют на скорость прироста населения, хотя и не полностью определяют его. И это требует более глубокого анализа всего комплекса факторов окружающей среды, влияющих на качество жизни населения КР.

Литература

1. Население Кыргызстана в XXI веке/ Под ред. М. Б. Денисенко. – Бишкек, 2001.
2. Демографические ежегодники Кыргызской Республики / Нацстатком КР. – Бишкек: Годовые публикации с 1991 по 2013 гг.
3. Ворошук А. Н. Моделирование систем и демография // Число и мысль: сб. - М: Знание, 1977. – С.86-118.
4. Демографический энциклопедический словарь / Гл.ред. Валентей Д.И. М.:Советская энциклопедия,1985.–608 с.
5. Хорн Б.К. П. Зрение роботов.– М.: Мир, 1989.– С.453-454.
6. Имитационные модели в демографии: сб. ст. / Под ред. А.Г. Волкова. – М.: Статистика, 1980. – 207 с.
7. Демографические модели: сб. ст. /Под ред. Е.М. Андреева и А.Г. Волкова. – М.: Статистика, 1977. – 182 с.
8. Венецкий И. Г. Математические методы в демографии. – М.: Статистика, 1971. – 296 с.
9. Курс демографии/ Под ред. А.Я. Боярского. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 391 с.
10. Гренандер У. Лекции по теории образов. – М.: Мир, 1983. – Т.1. –С.98-99, 206.
11. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике: учеб. пособие. -Л.: Изд.-во Ленинградского университета, 1984. – с. 132-133.
12. Акрамова Т.А., Хаскин В.В. Экология: учебник. – М.: Изд-во объедин. «ЮНИТИ», 1998. – С.315-316.
13. Климат Киргизской ССР. Справочник. – Фрунзе, 1965.
14. Сакамото-Момияма М. Сезонность и смертность человека / Пер. с англ. В.К. Бровцына. – М.: Медицина, 1980. – 245 с.

Рецензент: д.м.н. Джемуратов К.А.