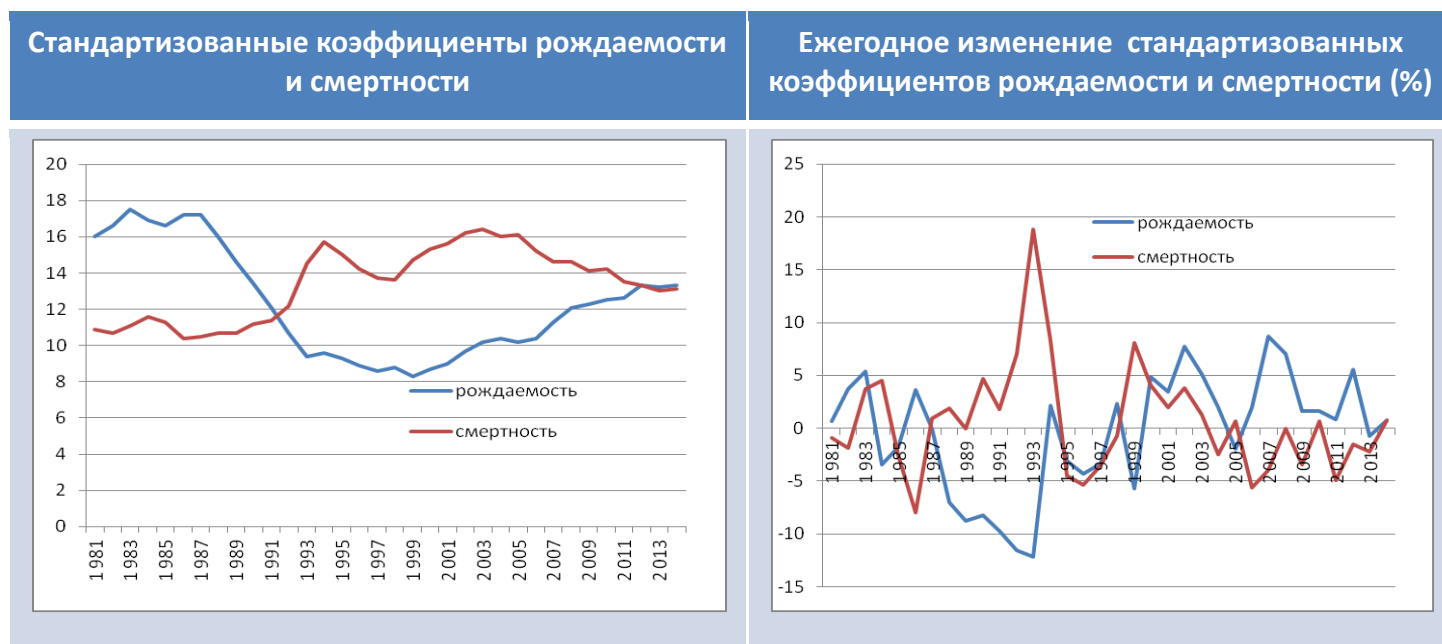


Выбор предположений при построении демографического прогноза

При построении демографического прогноза используются предположения относительно смертности, рождаемости и миграции населения. Как правило, выбранные предположения остаются неизменными в течение всего периода прогнозирования, потому что демографическое моделирование обычно сводится к лучевым прогнозам, целью которых является очертить границы решений при заданных внешних условиях. Полученные результаты часто лежат в основе официальных прогнозов и широко используются при построении различных социальных моделей. При этом для описания основных предположений, как правило, используются монотонные функции. Однако, если посмотреть на исторические данные, приведенные на рис. 1, то хорошо видно, что коэффициенты смертности и рождаемости носят не просто волнообразный характер, но еще имеют высокий уровень корреляции. Положительная корреляция положила начало демографическому переходу в Европе во второй половине прошлого столетия, в РФ, наоборот, корреляция отрицательная.

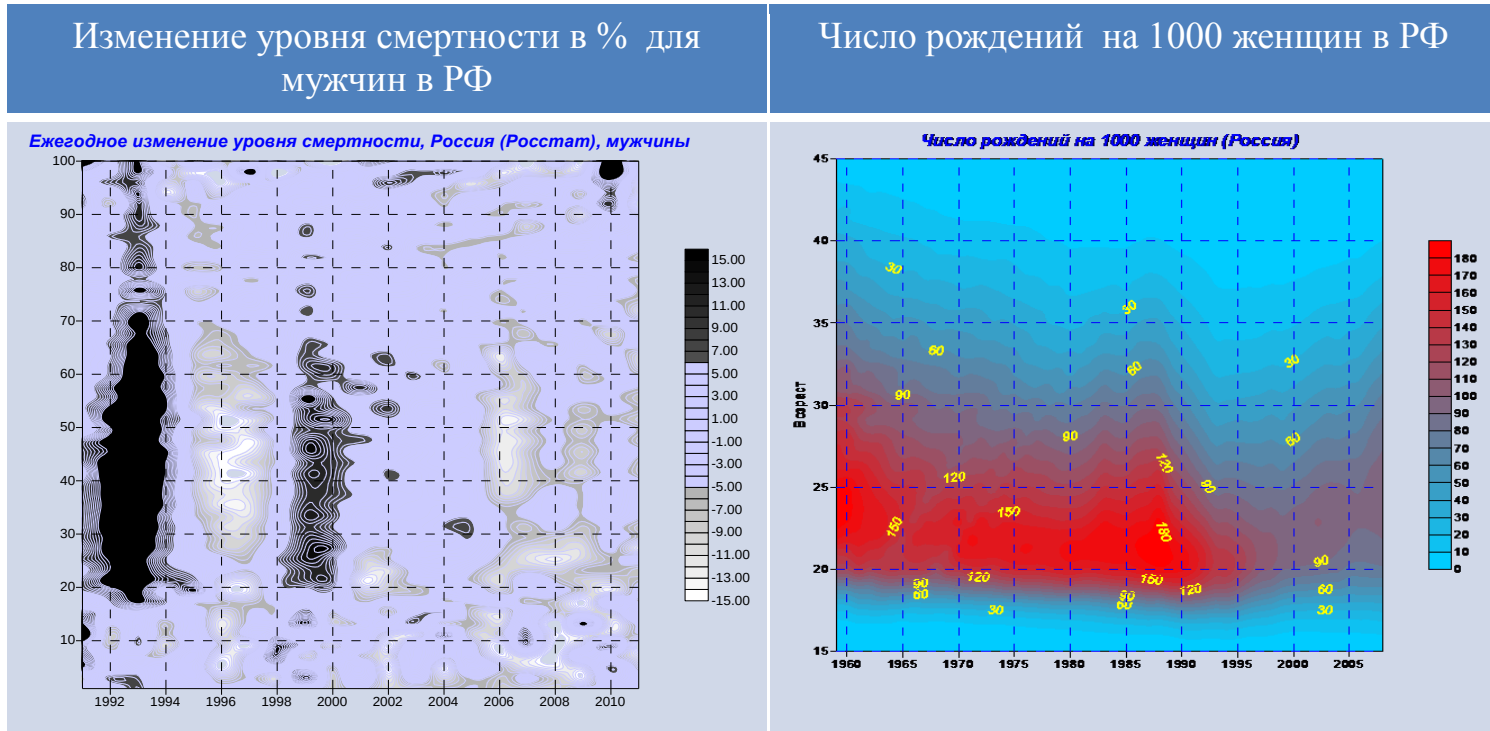
Рис. 1. Стандартизованные коэффициенты рождаемости и смертности.



Изменение стандартизованных коэффициентов рождаемости связано не только с изменением половозрастной структуры. На рис. 2 приведены

теплокарты смертности и рождаемости, которые подтверждают сложный характер поведения основных демографических предположений.

Рис. 2. Теплокарты смертности и рождаемости населения РФ



Идею теплокарт рассмотрим на примере динамики смертности. Сопоставим вероятности смерти в каждом возрасте в течение заданного промежутка времени. Вероятность умереть в возрасте (x) в год (t) определим как:

$$\mu(x, s, t) = \left(1 - \frac{l_{x+1}(s, t)}{l_x(s, t)}\right),$$

где

$l_x(s, t)$ – число доживших пола (s) до возраста (x), согласно таблице дожития в год (t). Изменение вероятности смертности за год определим следующим образом:

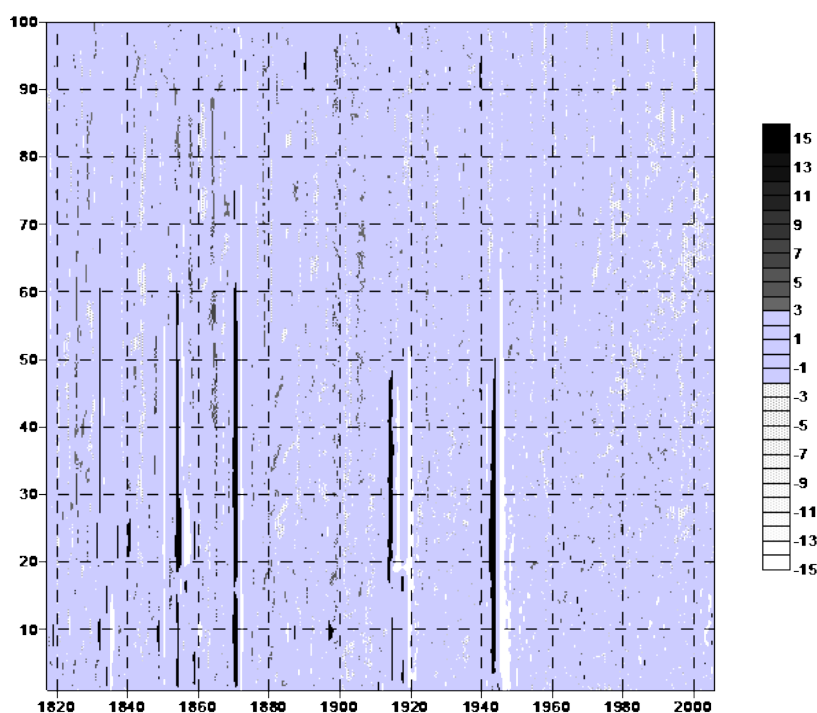
$$\Delta\mu(x, s, t+1) = \frac{\mu(x, s, t+1)}{\mu(x, s, t)}$$

Далее, проецируя полученное значение, выраженное в процентах, на плоскость время-возраст, получаем поле смертности (теплокарту) для определенного пола. Вертикальная шкала - это проценты изменения вероятности смерти. Черный цвет соответствует росту вероятности смерти, белый – снижению. Цвет фона распространяется на ежегодные процентные колебания смертности в диапазоне +/- 5%, что соответствует среднему

значению положительных и отрицательных значений процентных изменений вероятностей смерти. Подобное представление данных позволяет оценить изменение смертности и рождаемости в течение времени и выделить возрастные группы, наиболее сильно подверженные данным изменениям.

На первый взгляд неувидительный результат – в период исторических перемен всегда происходил рост смертности, связанный с войной, эпидемиями или другими причинами, но сам факт, что история оказалась оцифрованной и сохраненной в таблицах смертности, причем не специальным, а естественным образом, является удивительным. Просматриваемая зависимость между историческими событиями позволяет сделать заключение о новом способе сохранения исторических данных в цифровом формате, носителем которого являются таблицы смертности. Исторические данные о смертности свидетельствуют о сильной зависимости коэффициента смертности не только от возраста, но и от времени. Для примера приведена теплокарта смертности мужского населения Франции¹ (Рис. 3)

Рис. 3. Теплокарты смертности и рождаемости мужского населения Франции



¹ Для других стран теплокарты можно построить в режиме on-line в Интернете: <http://infoarchives.ru/demography/index.php?type=world&action=heatmap&lang=ru>

Попробуем найти связь между демографическими предположениями и построить прогноз в котором предположения могут изменяться в течение периода прогнозирования, т.е. находятся в зависимости от самого решения. В теории управления такие процессы называются процессами с обратными связями.

При построение прогноза постараемся найти ответы на следующие вопросы:

Существует ли равновесие популяции если ее рассматривать как динамическую систему, стремится ли она к гомеостазу²?

При наличии заметных демографических волн насколько быстро происходит изменение половозрастной структуры населения при неизменных коэффициентах смертности и рождаемости и к какому пределу эта численность стремится?

Влияет ли изменение половозрастной структуры населения на изменение коэффициентов смертности и рождаемости?

Рассмотрим сначала задачу волновой динамики возрастного профиля населения, которая сводится к следующему вопросу. Какой профиль примет половозрастная структура населения, если принять миграционные потоки численности равными нулю, а коэффициент суммарной рождаемости останется на уровне воспроизводства населения. В расчетах этот коэффициент был принят равным 2.085.

На рис. 4 представлены результаты численных расчетов, в которых моделировался переход половозрастной структуры от начального до предельного состояния. В левой части рисунка приведены начальная (РФ 2014) и предельные половозрастные структуры населения РФ, соответствующие различным значениям ожидаемой продолжительности жизни с момента рождения для обоих полов - 71 и 75 лет (ex 71, ex 75). Предельная структура принимает вид функции числа доживающих до заданного возраста L_x . Также для примера приведена предельная половозрастная структура для случая, когда уровень рождаемости ниже уровня воспроизводства (ex 71, КСР 1.8). В этом случае предельного профиля не существует.

² **Гомеостаз** (др. греч. ὁμοιότης от ὁμοιος — одинаковый, подобный и στάσις — стояние, неподвижность) — [саморегуляция](#), способность открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия. Стремление системы воспроизводить себя, восстанавливать утраченное равновесие, преодолевать сопротивление внешней среды. Гомеостаз популяции — способность популяции поддерживать определённую численность своих особей длительное время.

На правом рисунке приведено изменение численности населения в зависимости от времени. Две верхние кривые соответствуют варианту с уровнем рождаемости равном уровню воспроизводства населения для разных значений ожидаемой продолжительности жизни с момента рождения. Верхняя соответствует 75 годам, нижняя 71 году. Видно, что стабилизация численности не происходит в течение длительного времени, примерно 60 лет. Сокращение численности в процессе перехода довольно значительно и составляет от 10 до 15%. Нижняя кривая соответствует варианту в котором уровень рождаемости принят равным ниже уровня воспроизводства (1.8). Численность населения в данном варианте не стабилизируется и монотонно убывает.

Рис. 4. Возрастной профиль населения



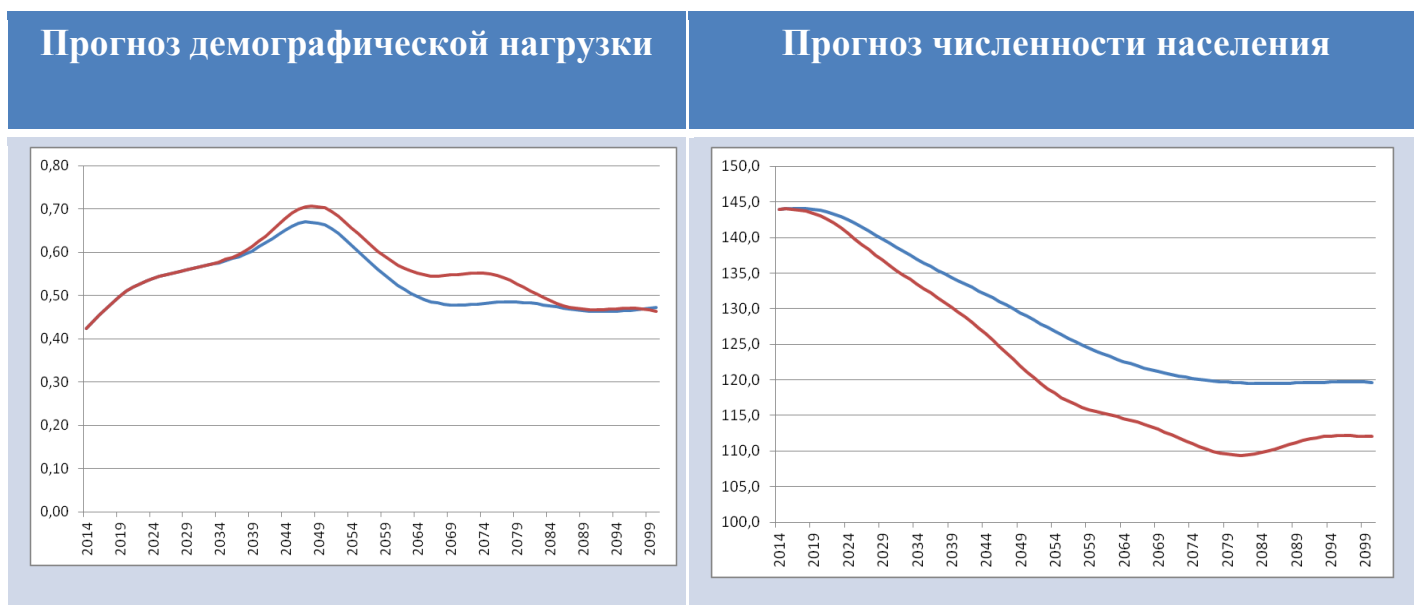
Учитывая, что доля населения в трудоспособном возрасте сильно не изменяется во времени и составляет примерно половину от общей численности населения, допустим существование связи между уровнем рождаемости и демографической нагрузкой. Демографическую нагрузку рассчитаем как отношение численности населения старше пенсионного возраста к численности населения, находящегося в трудоспособном возрасте. Назовем этот сценарий сценарием с обратной связью.

Построим демографический прогноз, в котором скорректированный коэффициент суммарный рождаемости $KCP(t)^*$ зависит от изменения демографической нагрузки $DR(t)$ следующим образом:

$$KCP(t)^* = KCP(t) * \frac{DR(t - \Delta t)}{DR(t - 1)}$$

Таким образом, скорректированное значение коэффициента суммарной рождаемости $KCP(t)^*$ получается путем умножения базового значения $KCP(t)$ на коэффициент, описывающий изменение демографической нагрузки с учетом временного лага, для примера принятого равным 10 годам. Физический смысл корректировки состоит в следующем. Если существует зависимость между уровнем рождаемости и демографической нагрузкой, то рост нагрузки с некоторым запаздыванием должен приводить к снижению рождаемости и наоборот. Мы описали процесс с большим периодом волны, в случаях анализа краткосрочных изменений нужны другие гипотезы и предположения. Результаты численного моделирования приведены на рис. 5. Сценарий с обратной связью соответствует линии красного цвета.

Рис. 5. Результаты численного моделирования с учетом и без учета обратной связи между уровнем рождаемости и демографической нагрузкой

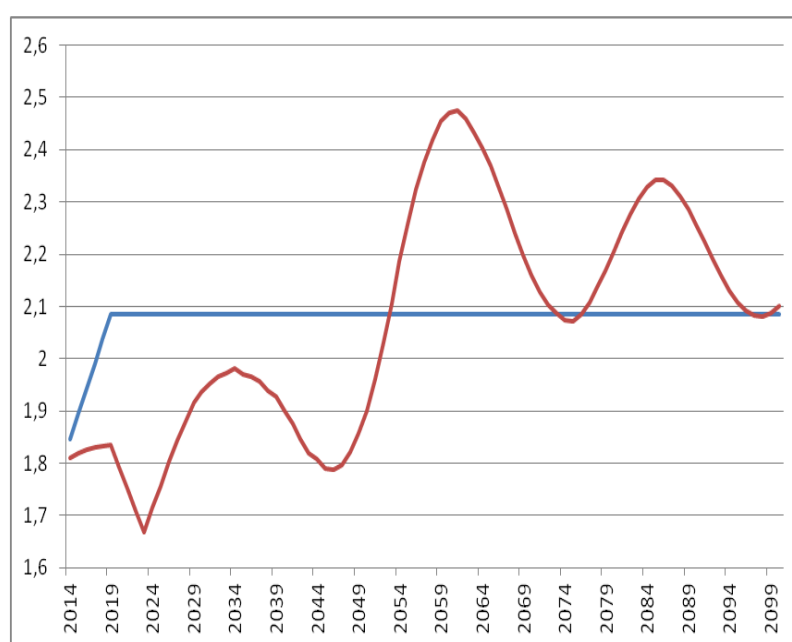


Зависимости скорректированного и базового КСР от времени приведены на рис. 6. В прогнозе где численность населения стабилизируется базовый КСР равен константе. Скорректированный КСР – это волнообразная функция с высокой амплитудой колебания.

На горизонте прогноза выше 100 лет в численности населения в обоих рассмотренных сценариях практически совпадают, а демографическая нагрузка в сценарии с обратной связью также представляет волновую функцию, совершающую колебания относительно предельного значения демографической нагрузки.

Приведенный простой пример показал влияние на результаты прогноза допущения о наличии обратных связей между предположениями и результатами решения. Пример носит демонстрационный характер, тем не менее можно сделать вывод о наличии существенной инерции в решениях уравнений, описывающих динамику численности. Следовательно, напрашивается очевидный вывод, что демографические процессы трудно вывести из равновесия в режиме без обострений (не рассматривая эпидемии, катастрофы и т.д.), но также трудно вернуть в положение равновесия после длительного или значительного воздействия. Наиболее хорошим подтверждением служит наличие не затухающих демографических волн в структуре населения РФ.

Рис. 6. Коэффициент суммарной рождаемости



Результаты демографических исследований уже давно используются для многих междисциплинарных задач. Для примера рассмотрим влияние дополнительных факторов на смертность. Для этого опять обратимся к истории. В таблице 1 приведено число умерших вследствие эпидемий.

Таблица 1. Число умерших от эпидемий

год	число умерших	эпидемия	страна
1625	35 000	чума	Великобритания
1656	60 000	чума	Италия
1665	100 000	чума	Лондонская чума
1672	400 000	чума	Италия
1792	800 000	чума	Египет
1793	5 000	желтая лихорадка	США
1855	12 000 000	чума	Китай, Индия
1896	3 000 000	чума	Индия
1910	1 000 000	чума	Индия
1918	75 000 000	Испанка	Европа
1921	1 000 000	чума	Индия
1957	2 000 000	азиатский грипп	
1968	33 800	гонконгский грипп	США
1980-2006	25 000 000	СПИД	

По всей вероятности Испанка была самой массовой эпидемией за всю историю человечества. В 1918—1919 годах в течение 18 месяцев во всем мире от испанки умерло приблизительно 50-100 млн человек или 2,7-5,3 % населения Земли. Было заражено около 550 млн человек, или 29,5% населения планеты. Эпидемия началась в последние месяцы Первой мировой войны и быстро затмила это крупнейшее кровопролитие по масштабу жертв. В мае 1918 года в Испании было заражено 8 млн людей или 39% её населения.

Поэтому в реальной жизни на демографическое развитие внешняя среда может оказать очень сильное воздействие. И чем сильнее это воздействие, тем оно менее предсказуемо.

Кроме эпидемий врагом человечества являются природные катастрофы. Но люди сегодня сами провоцируют природу. Около 56 млн. лет назад вулканические выбросы углекислого газа в атмосферу Земли заметно выросли, что привело к глобальному потеплению на 5-8 градусов Цельсия. Сегодня за год CO₂ выбрасывается в 10 раз больше.

Сверхизвержение вулкана Тамбора на острове Сумбава в Индонезии в 1815 году имело разрушительные последствия. Тогда в результате этого стихийного бедствия погибло свыше 70 тысяч человек (самое большое число жертв вулкана за всю историю цивилизованного человечества, хотя непосредственно взрыв уничтожил только 12 тысяч человек, остальные погибли от цунами, ядовитых газов и от падающих камней), несколько островов архипелага стали полностью негодными для проживания.

Кроме того, это извержение породило глобальные климатические аномалии, включая такой феномен, как "вулканическая зима". Так, 1816 год

стал известен как "год без лета" из-за чрезвычайно низких температур, которые установились в Европе и Северной Америке. Этот необычный холод привел к катастрофическому неурожаю, из-за чего весной 1817 цены на зерно выросли в десять раз, а среди населения разразился голод. В результате множество европейцев эмигрировали в Америку

Однако даже эта катастрофа меркнет перед тем, что устроил людям вулкан Тоба с индонезийского острова Суматра 74 тысячи лет тому назад. Тогда при сверхизвержении из земных недр было выброшено больше тысячи кубических километров магмы (для сравнения — этого количества вполне достаточно для того, чтобы покрыть территорию всей России восьмисантиметровым слоем лавы). После взрыва из-под земли со сверхзвуковой скоростью вырвался столб раскаленного газа и пепла, который почти мгновенно достиг края стратосферы — отметки в 50 километров. За трое суток на поверхность излилось более 2800 кубокилометров магмы: кое-где толща застывшей лавы достигала десятков метров.

Тем не менее, во всей истории человечества не было периода, подобного XX веку: численность населения выросла в четыре раза, глобальный ВВП — в 24 раза, а потребление всех материалов увеличилось в восемь раз. При этом потребление биомассы выросло в 3,6 раза, металлических руд — в 27, а строительных материалов — в 37 раз. Рост потребления материалов составлял от 1 до 4% в год.

В 1798 году Мальтус опубликовал свою книгу *Essay on the Principle of Population* («Очерк о законе народонаселения»). Три основных тезиса «Очерка»:

Из-за биологической способности человека к продолжению рода, его физические способности используются для увеличения своих продовольственных ресурсов.

Народонаселение строго ограничено средствами существования.

Рост народонаселения может быть остановлен лишь встречными причинами, которые сводятся к нравственному воздержанию, деструктивному действию пороков или несчастьям (войны, эпидемии, голод).

Также Мальтус приходит к выводу, что народонаселение растёт в геометрической прогрессии, а средства существования — в арифметической.

В 1850-м году Французская Академия составила прогноз развития города Парижа на 100 лет - к 1950-му году. Этот прогноз сбылся во многом за одним исключением: французские академики считали, что главными проблемами для Парижа будут транспортные, потому что увеличится население, и, следовательно, главной транспортной проблемой будет уборка конского навоза - они не представляли, что будут другие виды транспорта.

В начале 70-х годов по предложению Римского Клуба была разработана математическая модель мировой динамики, основным результатом которой был вывод, что дальнейшее развитие человечества на физически ограниченной планете Земля приведет к экологической катастрофе в 20-х годах следующего столетия.

Сегодня появились возможности резко повысить эффективность использования материалов благодаря их армированию SWCNT (одностенных углеродных нанотрубок). Добавление 0,2% SWCNT на единицу массы алюминия позволяет повысить предел прочности при растяжении на 150% или сократить потребность в алюминии в два с половиной раза. В результате кумулятивное снижение выбросов за 2015–2100 годы может составить 331 млрд тонн CO₂, что кратно шести объемам всех антропогенных выбросов за 2014 год и восьми годовым объемам выбросов ПГ от сжигания топлива и от промышленных процессов. Для этого необходимо увеличить производство и использование SWCNT до 167 тыс. тонн в 2035 году, до 289 тыс. тонн в 2050-м и до 429 тыс. тонн в 2100-м.

Т.е. вопреки прогнозам находятся ресурсы и возможности, которые кардинально меняют ситуацию.

В последнее время модно анализировать сверхсмертность, связанную с температурными аномалиями. Попробуем оценить влияние роста температуры на смертность. Для этого воспользуемся данными, приведенными исследователем Б. Ревичем.³ (Таблица 2)

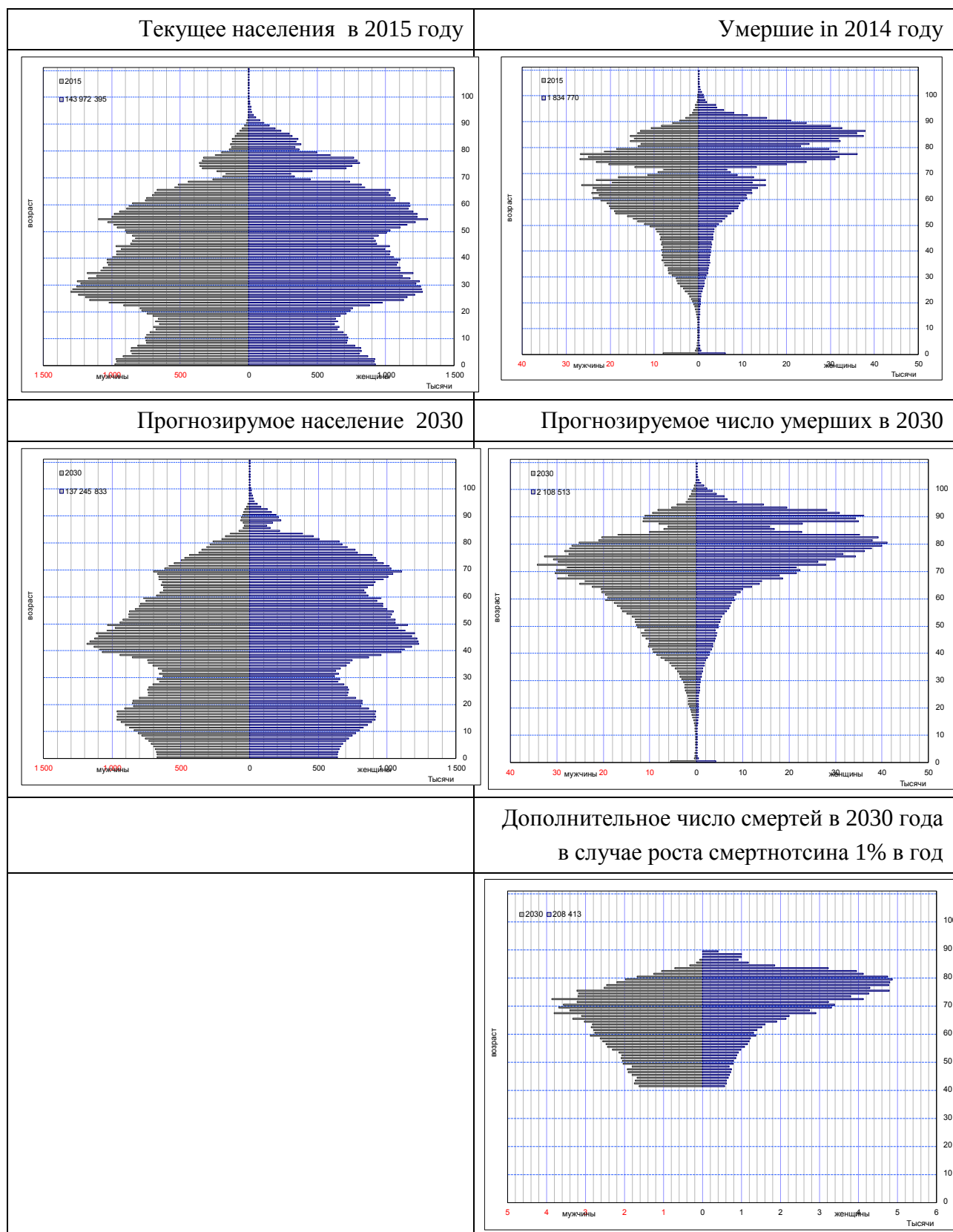
Таблица 2. Дополнительная смертность во время аномальной жары

Страна, год	Продолжительность жары в днях	Дополнительное число смертей по сравнению с аналогичным временем в предыдущие годы	
		тысяч человек	%
Россия, 2010, в пределах Т аномалии +5°	От 30 до 53 дней на разных территориях	44,7	Июль — 16% Август — 51%
• в т.ч. Москва	53	11	59,6
Европа, 2003		44	
Франция, 1976	14	6	
Франция, 2003	15	15	30
Нью-Йорк, 1972	7	0,9	62
Чикаго, 1995	7	0,8	47

Предположим, что начиная с 40 лет уровень смертности в связи с процессами глобального потепления ежегодно увеличивается на 0,5-1%. Конечно в реальности это более сложный процесс, но наша цель - оценить количество дополнительных смертей. Результаты расчета показаны ниже.

³ <http://polit.ru/article/2010/11/15/demoscope439/>

Рис. 7. Половозрастные диаграммы населения РФ



В таблице 3 приведены исторические данные о смертности населения и прогнозируемое число дополнительных смертей по странам в случае постепенного роста смертности в 1% в год. Миграция не учитывается. Коэффициенты рождаемости были взяты с сайта www.humanfertility.org.

Таблица 3. Фактическое и прогнозируемое число дополнительных смертей (тыс.), связанных с ростом температуры.

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Австралия	128,3	130,7	142,7	1,5	7,1	13,6	21,2
Австрия	76,8	75,2	77,2	0,7	4,1	7,3	10,4
Канада	218,1	230,1	240,1	2,5	12,4	23,7	36,6
Чехия	109,0	107,9	106,8	1,0	5,7	10,0	14,1
Эстония	18,4	17,3	15,8	0,1	0,7	1,2	1,7
Финляндия	49,4	47,9	50,9	0,5	2,5	4,4	6,4
Франция	530,9	527,5	540,5	5,2	29,4	50,3	72,3
Германия	838,8	830,2	858,8	8,7	44,2	74,5	98,9
Италия	560,1	565,1	581,3	6,1	27,5	46,8	65,6
Япония	961,7	1 083,8	1 197,0	12,9	63,2	108,7	150,1
Мексика	516,6	560,8	640,5	5,9	32,0	63,2	100,8
Нидерланды	140,5	136,4	136,1	1,4	6,9	12,7	18,9
Россия	2 225,3	2 303,9	2 028,5	16,6	90,7	151	208
Словакия	52,7	53,5	53,4	0,5	2,8	4,9	7,2
Словения	18,6	18,8	18,6	0,2	1,1	1,8	2,6
Швеция	93,5	91,7	90,5	0,8	4,5	7,8	11,3
Швейцария	62,5	61,1	62,6	0,6	2,9	5,4	8,2
Великобритания	608,4	582,7	561,7	5,5	28,0	49,0	70,6
США	2 403,4	2 448,0	2 468,4	24,1	140,0	256,2	381,4
Итого	9 612,8	9 872,8	9 871,5	95,1	505,6	892,8	1 286,6

Можно предположить, что если рост температуры Земли будет происходить медленнее, влияние будет гораздо меньше. Тенденции роста средней температуры Земли не может сильно влиять на коэффициент смертности в обозримом будущем. Но для местных территорий и в определенный период времени эта проблема стоит достаточно остро.

Развивая идею междисциплинарного расширения демографических исследований можно предложить организовать демографический мониторинг связанный, например, с прогнозом погоды. Эта процедура должна быть введена в практику оценки дополнительного количества смертей и увеличение числа обращений за медицинской помощью в период пикового роста температуры, атмосферных аномалий и т.д.

Также интересно разработать систему демографического риск-менеджмента оценки последствий демографического перехода и последующего резкого роста потребления и нагрузки на экосистему.

Статья была подготовлена по результатам доклада, представленного на заседании Демографической секции Центрального дома ученых РАН 29.02.16.