

**А. А. Фридман<sup>1</sup>**

канд. экон. наук, доцент кафедры микроэкономического анализа Научно-исследовательского университета — Высшей школы экономики (Москва)

## **ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ: ДЕФИЦИТ ИЛИ РЕДКОСТЬ?**

В экономической теории под дефицитом товара или ресурса принято понимать ситуацию, при которой величина спроса на некоторый товар превосходит величину предложения. Причиной дефицита является отклонение цен от равновесных значений. Подобное отклонение, как правило, связано с наличием государственного регулирования.

Однако в случае водных ресурсов мы крайне редко встречаемся с дефицитом в этом классическом понимании. Если на рынке некоторого товара в силу государственного регулирования цена будет ниже эффективного значения, то производители оказываются не готовы поставить на рынок объем продукции, который хотели бы при этой цене приобрести потребители. В отношении водных ресурсов ситуация выглядит несколько иначе. Водоснабжение во многих странах контролируется государством. В результате при физическом наличии запаса воды, необходимого для удовлетворения нужд всех потребителей при данных ценах, спрос может быть удовлетворен полностью.

Проблема с удовлетворением спроса возникает лишь в том случае, если физический запас воды на некий момент времени оказывается недостаточным для удовлетворения всех потребностей. Отличие водных ресурсов от множества других товаров и услуг состоит в том, что со временем происходит естественное пополнение ресурсов за счет осадков. Более того, эти ресурсы накапливаемы (например, подземные воды), а потому возможно перераспределение потребления во времени. В связи с этим сложности с обеспечением всех потребителей водой возникают в отдельные моменты времени в силу существенного снижения предложения воды, вызванного засухой, то есть подобный дефицит является, как правило, временным явлением, связанным с неопределенностью речного стока. Более того, эта проблема может быть решена посредством продуманной политики управления водными ресурсами. Гидрологические и климатические наблюдения и исследования позволяют прогнозировать колебания речного стока и сглаживать соответствующее предложение водных ресурсов за счет строительства дамб и водохранилищ. Кроме того, можно использовать естественный запас подземных вод в засушливые периоды при разумном сочетании различных природных источников водоснабжения.

Однако, помимо временного, возможен и перманентный дисбаланс спроса и предложения, при котором в силу загрязнения существующих источников или их чрезмерно интенсивной эксплуатации при существующих тарифах

---

<sup>1</sup> Эл. адрес: [alla\\_friedman@hotmail.com](mailto:alla_friedman@hotmail.com)

пополняемый сток оказывается недостаточным для удовлетворения спроса в настоящем периоде или подобная ситуация может возникнуть в ближайшем будущем. Таким образом, рассматривая водные ресурсы, мы пытаемся принимать во внимание возможность достижения некоторого стационарного состояния, при котором ресурсов оказалось бы достаточно для удовлетворения спроса (с учетом роста населения, совершенствования технологий, изменения качества ресурсов). Подобную ситуацию физического истощения пригодных для использования водных ресурсов характеризуют понятием редкости.

Итак, несмотря на то, что термины «дефицит» и «редкость» в экономике водных ресурсов зачастую используют как синонимы, с точки зрения экономической теории дефицит и редкость представляют разные проблемы. Понятия редкости отражает истощение физического запаса ресурса относительно спроса на этот ресурс и требует эффективного распределения использования этого ресурса во времени. Этот вопрос анализируется, к примеру, в работе Фридман (2008), где рассматривается соответствующая тарифная политика и способы перехода к эффективным тарифам.

Оставив в стороне проблему редкости, обратим внимание на регулирование дефицита водных ресурсов, где дефицит понимается в традиционном смысле как текущий дисбаланс между величинами спроса и предложения, вызванный отклонением цены от равновесного значения. Поскольку цены на воду в большинстве стран регулируются государством, то при фиксированных ценах возможен подобный дисбаланс, например, в ситуации резкого сокращения стока, что может быть вызвано засухой.

### Регулирование дефицита

Рассмотрим различные варианты распределения воды в условиях дефицита. Заметим, что естественной реакцией рынка на возникновение дефицита является повышение цены товара, однако власти крайне редко прибегают к повышению тарифов для устранения дефицита воды.

Временное повышение тарифов является самой простой мерой регулирования, но не относится к наиболее распространенным способам регулирования дефицита. Например, при засухе в Вирджинии 2002 г. лишь 2 округа из 21 использовали тарифную политику (Halich, Stephenson, 2006). На первый взгляд подобная практика не согласуется с теоретическими выводами о том, что ценовое регулирование является наилучшим решением проблемы, поскольку рост тарифов дает верный сигнал потребителям и стимулирует сокращение водопотребления. При этом не возникает проблемы асимметрии информации, поскольку каждый агент сам выбирает объем сокращения водопотребления, что позволяет эффективно распределить издержки, связанные со снижением потребления между водопользователями.

Рассмотрим причины, препятствующие широкому применению ценового регулирования. Одним из объяснений непопулярности этой меры является низкая ценовая эластичность спроса на воду. Как показывают многочисленные исследования, спрос на воду неэластичен по цене. Например, в работе (Beecher, Mann, Hegazy, John, 1994) на основе обзора более 100 эмпирических исследований приходят к выводу о том, что ценовая эластичность спроса на воду находится в интервале от  $-0,4$  до  $-0,2$ . Анализируя результаты 300 эмпирических исследований за период с 1963 до 1998 г. (Dalhuisen, Florax, Groot, Nijkamp, 2003) получили среднюю ценовую эластичность, равную  $-0,41$ . Это означает, что для сокращения водопотребления на 20 % требуется повысить

тарифы на 50—100 %. Резкое повышение тарифов может негативно сказаться на положении бедных домохозяйств, а потому подобная политика требует соответствующих мер социальной поддержки.

Кроме того, ценовое регулирование оказывается эффективным лишь в том случае, если потребители платят за фактические объемы водопотребления. Однако во многих странах (в первую очередь это относится к развивающимся странам<sup>1</sup>) в силу отсутствия у потребителей водоизмерительных приборов оплата производится по нормативу. В этих условиях повышение тарифов лишь снизит благосостояние потребителей, но не будет стимулировать водосбережение.

В качестве альтернативы ценовому механизму можно рассмотреть различные способы рациионирования. В экономической теории различают количественное рациионирование, при котором каждый потребитель сталкивается с определенным ограничением на получение ресурса, и рациионирование посредством очередей, которое возникает как децентрализованная реакция на редкость ресурса. В последнем случае время, проведенное в очередях, служит регулирующим механизмом, который берет на себя роль цен, поскольку полная цена приобретения товара или услуги, помимо его номинальной цены, включает стоимость времени в очередях. Обзор и сравнительный анализ этих механизмов неценового регулирования в рамках модели общего равновесия с негибкими ценами приведен в работе (Polterovich, 1993).

Механизм очередей в случае водных ресурсов используется главным образом в очень бедных странах с острым дефицитом воды, где отсутствует водопровод и люди вынуждены ходить за питьевой водой к редким источникам<sup>2</sup>. В большинстве стран вода подается непосредственно потребителю, а потому система очередей в ее классическом варианте здесь фактически не работает. Обратимся к регулированию, основанному на рациионировании водопотребления.

### **Варианты рациионирования водных ресурсов**

Итак, при наличии временного дисбаланса между спросом и предложением воды власти могут прибегнуть к временному повышению тарифов или использовать рациионирование в виде ограничения на объемы водопотребления.

Обратимся к анализу различных способов рациионирования водопотребления. Весьма распространенным вариантом регулирования (особенно в развивающихся странах) являются временные ограничение подачи воды, то есть вода в течение суток подается лишь в определенное время. В результате потребители не могут эффективно распределять во времени внутрисуточное водопотребление, что влечет существенные потери в благосостоянии. Если подобный способ рациионирования применяется часто или используется длительное время, то водопользователи могут снизить эти потери, осуществив

<sup>1</sup> Например, в странах СНГ в 1998 г. доля домохозяйств, имеющих водоизмерительные приборы, составляла менее 10%, к 2003 г. доля таких домохозяйств возросла, но не превышала 20 %, за исключением Грузии, Казахстана и Молдавии, где доля таких домохозяйств составила около 50 % (OECD, 2005, p. 30).

<sup>2</sup> Анализируя выбор жителей одной из деревень Кении между покупкой воды в местном киоске и бесплатным водозабором из скважины, сопряженным с затратами времени, авторы (Whittington, Mu, Roche, 1990) получили довольно высокую оценку времени в очередях, сопоставимую с заработной платой низкоквалифицированного труда, что свидетельствует о неэффективности данного способа распределения ресурса.

инвестиции в водонакопительное оборудование, позволяющее сгладить перебои в водоснабжении.

Другой формой рациионирования является введение универсального, то есть одинакового для всех потребителей, количественного ограничения на объем водопотребления. Эта мера проста в реализации, но приводит к неэффективному распределению ограниченного ресурса между пользователями, поскольку игнорирует проблему неоднородности водопользователей: для одних сокращение в водопотреблении сопряжено с большими издержками, чем для других.

Вариацией рассмотренного выше способа является схема пропорционального рациионирования, при которой в случае засухи все потребители сталкиваются с ограничением на водопотребление, составляющим некую фиксированную долю от их обычного водопотребления для данного периода. С одной стороны, этот вариант рациионирования в некоторой мере учитывает различия в потребностях, но, с другой стороны, и этот вариант имеет свои недостатки. Во-первых, реализация данного принципа не всегда возможна, поскольку для некоторых агентов (переехавших в данный регион домохозяйств или новых фирм) данные по предшествующему водопотреблению отсутствуют. С другой стороны, данный вариант рациионирования не создает стимулов к водосбережению, поскольку высокий уровень водопотребления позволяет получить более высокую квоту в период засухи.

Весьма распространенным способом рациионирования является введение ограничений для отдельных видов водопользования. В этот список, как правило, включают использование воды для поливки газонов, мытья машин, функционирования фонтанов. Этот вариант рациионирования является весьма эффективным при кратковременной засухе, но при продолжительном дефиците воды требуются дополнительные меры.

Рассмотренные выше варианты количественного рациионирования могут дополняться мерами, способствующими более эффективному распределению ограниченного предложения воды. Одним из вариантов таких мер является система накопления кредитов. Суть этой политики такова: если агент в некий период потребляет меньше воды, чем предусмотрено выделенной ему квотой, то неизрасходованный объем он может перенести на следующий период. Это создает дополнительные стимулы к экономии воды и позволяет агентам эффективно распределять ресурс между периодами. Однако реализация данной программы требует возможности перераспределения предложения воды между периодами. К примеру, такая возможность существует при использовании в качестве одного из источников водоснабжения подземных вод. Кроме того, существует опасность, что накопленные кредиты окажутся бесполезными для потребителей в том случае, если засуха закончится и рациионирование будет отменено. Это снижает стимулы к водосбережению, но подобная проблема может быть решена путем выплаты денежной компенсации за неиспользованные кредиты.

Наконец наиболее гибким вариантом является рациионирование с передаваемыми купонами. В этом случае водопользователи могут продавать и покупать кредиты, что позволяет достичь эффективного распределения потерь от снижения водопотребления, поскольку те агенты, которые находят издержки от снижения водопотребления слишком высокими, смогут докупить кредиты у водопользователей, для которых эти издержки ниже.

В табл. 1 отражены примеры использования рассмотренных выше вариантов регулирования.

Заметим, что использование количественных ограничений при рациировании сопряжено с определенными затратами, связанными с мониторингом водопотребления. Кроме того, требуется введение системы предупреждений, штрафов и в крайних случаях приостановки водоснабжения, стимулирующих пользователей придерживаться введенных ограничений. Как показывает опыт, роль системы контроля принуждения в сокращении водопотребления весьма существенна. Так, к примеру, анализ эффективности рациирования в период засухи 2002 г. в Вирджинии показывает, что при строгом мониторинге и применении штрафных санкций удается достигнуть дополнительного 20 % сокращения в водопотреблении (Halich, Stephenson, 2006).

Таблица 1

## Способы регулирования водопользования в период засухи

Способ регулирования	Недостатки	Примеры использования
Повышение тарифов	Неэластичный спрос требует резкого повышения тарифов. Эффективно лишь при наличии водоизмерительных приборов	2002 г., округа Албемарл и Шарлот (Вирджиния, США). В течение 3 месяцев тарифы возросли в 3 раза, что привело к сокращению потребления на 25 % (Halich, Stephenson, 2006)
Перерывы в водоснабжении	Неэффективное внутрисуточное распределение воды, дополнительные расходы на водонакопительное оборудование	1981—1982 гг., в Гонконге перерывы составляли 8—14 часов в сутки (Woo, 1994). 1992—1996 гг., в Севилье (Испания) перерывы составляли 8 часов в сутки (Roibas, Garcia-Valinas, Wall, 2007)
Универсальное рациирование	Неэффективное распределение потерь между водопользователями	1991 г., Калифорния (Lund, Reed, 1995)
Пропорциональное рациирование	Нет стимула для использования водосберегающих технологий	1986—1991 гг., Калифорния, США (Dixon, Moore, Pint, 1996)
Ограничение определенных вариантов водопользования	Эффективно в краткосрочном периоде	2005—2006 гг., Австралия (Brennan, Tapsuwan, Gordon, 2007)
Рациирование с накоплением кредитов	Необходимость сбережения неиспользованной воды. Проблема неиспользованных кредитов	1991 г., Округ Марин (Калифорния), (Lund, Reed, 1995)
Рациирование с передаваемыми купонами	Сложно реализовать на индивидуальном уровне	На индивидуальном уровне не применяется. Используется преимущественно в сельском хозяйстве. 1991—1992 гг., Калифорния, торговля осуществлялась через Банк Воды (Moris, Lund, 1995)

## ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕФИЦИТА

Рассмотренные выше варианты регулирования можно разделить на две группы: ценовое регулирование и рациирование. Сравнительный анализ этих вариантов в терминах влияния на благосостояние проведен в нескольких работах. В статье (Woo, 1994) рассматривается политика перерывов в водоснабжении, которая сопоставляется с тарифным регулированием, а затем проводится сравнительный вариант потерь на основе данных за 1973—1990 гг. для Гонконга. Оценка потерь водопотребителей строится на основе концеп-

ции компенсирующей вариации. Для заданного промежутка времени, соответствующего перерыву в предоставлении услуги, автор рассчитывает потерю в доходе потребителя, которая вызвала бы такое же снижение в его благосостоянии, как и данный перерыв в водоснабжении. Для сравнения с вариантом ценового регулирования автор вводит понятие виртуальной цены, которая порождала бы такое же снижение в водопотреблении за период, как и при рассматриваемом перерыве в водоснабжении. Полученные автором численные оценки свидетельствуют о том, что среднемесячные потери при перерывах в водоснабжении в несколько сот раз превышают потери от повышения тарифов.

В статье (Roibas, Garcia-Valinas, Wall, 2007) предложен подход к оценке потерь, основанный на потребительском излишке. Авторы приняли во внимание тот факт, что в случае продолжительных периодов рационирования, основанных на ограничении времени подачи воды, потребители приспосабливаются к этим ограничениям посредством приобретения водонакопительного оборудования, спрос на которое, в свою очередь, зависит от доходов потребителей. Однако в данной работе рационирование рассматривается как сокращение водопотребления, пропорциональное планируемому объему, то есть, по сути, мы имеем дело с хорошо известным в экономической теории вариантом пропорционального рационирования. Заметим, что этот подход не вполне соответствует перерывам в водоснабжении, так как не учитывает невозможность достижения эффективного распределения заданного объема водопотребления. По сути, авторы предполагают, что непрерывность процесса водопотребления восстанавливается за счет инвестиций, осуществляемых потребителями в приобретение соответствующего оборудования.

На основе построенной модели авторы показывают, что величина потерь при рационировании водоснабжения всегда выше, чем при повышении тарифов. Данный результат объясняется введением пропорциональной схемы рационирования вместо эффективной. Заметим, что в случае эффективной схемы рационирования, когда каждая единица дефицитного ресурса достается агенту с наивысшей оценкой этой единицы, мы получили бы такую же величину общественных потерь, как и при повышении тарифов.

На основе данных для периода засухи в испанском городе Севилья 1992—1996 г. были получены численные оценки потерь при повышении тарифов и при перерывах в подаче воды, рассчитанные как на основе данной модели, так и на основе модели, описанной в работе (Woo, 1994). Несмотря на то что в обоих случаях потери при перерывах в водопотреблении оказались выше, численные результаты существенно различались для двух моделей. При использовании своей методологии потери от перерывов в водоснабжении оказываются выше потерь от роста тарифов примерно в 8 раз, однако при использовании методологии Woo выигрыш оказывается в сотни раз выше. Как отмечают авторы, оценки, полученные в соответствии с методологией Woo, явно завышены, поскольку потери от перерыва в водоснабжении оказываются равными 60 % дохода потребителей.

В работе (Brennan, Tapsuwan, Gordon, 2007) оцениваются потери домохозяйств от ограничений на использование воды вне дома (полив участков, устройство фонтанов и т. п.) по сравнению с ограничением водопользования, достигаемым за счет повышения тарифов на примере Австралии, где подобные виды водопользования составляют 50—55 % совокупных расходов воды для домохозяйств. Для расчета потерь используется концепция компенсирующей вариации, причем авторы получают оценки отдельно по группам с разными доходами. Особенность регулирования в Австралии состоит в том, что

ограничение касается не сферы применения воды, а технологии ее использования. В частности, в 2004—2005 гг. в силу засухи в Австралии были введены ограничения на автоматический полив приусадебных участков, но при этом ручной полив не ограничивался.

Для оценки потерь от введенного запрета авторы рассматривают модель выбора домохозяйства, полезность которого зависит от потребления агрегированного блага, состояния приусадебного хозяйства и свободного времени. При этом состояние приусадебного хозяйства определяется уровнем орошения, причем последнее может осуществляться в автоматическом режиме или же ручным способом, которые рассматриваются как несовершенные заменители. Коэффициент замещения между этими двумя факторами оценивался по данным г. Перт, столице штата Западная Австралия. Далее были получены оценки потерь в благосостоянии потребителей от введения ограничений на использования автоматического полива и сопоставлены с потерями от повышения тарифов, приводящих к такому же сокращению совокупного водопотребления по группам населения с разным уровнем дохода.

Полученные результаты свидетельствуют, что при высокой оценке роли приусадебного хозяйства потери от повышения тарифов однозначно ниже, чем потери от натурального рационирования для всех групп потребителей. При этом чем выше доход потребителей, тем больше они выигрывают от замены ограничений на ценовое регулирование. Так, для агентов с низкими доходами потери от натуральных ограничений в 3,5 раза превышают потери от роста тарифов, в то время как для богатых превышение составляет более 16 раз. Причина существенной разницы в выигрыше для богатых и бедных состоит в том, что ограничения на автоматический полив при высокой оценке приусадебного хозяйства приводят к замещению ручным поливом, что сокращает свободное время, имеющее более высокую ценность для агентов с высоким доходом. При низкой оценке приусадебного хозяйства лишь агенты с высокими доходами оказываются в выигрыше от замены рационирования на повышение тарифов, причем этот выигрыш не превышает 15 %, в то время как агенты с низким и средним доходом однозначно проигрывают от этих изменений.

Grafton, Ward (2008) проводят сравнительный анализ потерь при тарифном регулировании и рационировании в форме ограничения определенных видов водопользования для периода засухи в Австралии 2004—2005 гг. Для оценки потерь потребителей авторы используют концепцию потребительского излишка. Полученные результаты однозначно свидетельствуют в пользу политики тарифного регулирования: потребительский излишек в случае рационирования оказался в три раза меньше по сравнению с вариантом повышения тарифов.

Рассмотренные выше работы показывают, что независимо от того, используется ли для измерения потерь в благосостоянии потребителей компенсирующая вариация или потребительский излишек, политика регулирования дефицита посредством тарифов является предпочтительной по сравнению с различными способами количественного рационирования. Однако до сих пор мы анализировали потери домохозяйств. Обратимся к другой группе водопользователей — производителям, которые используют воду как один из факторов производства. В работе (Woo, Lo, 1993) оцениваются производственные потери от перерывов в водоснабжении по сравнению с аналогичным снижением в водопотреблении, полученным за счет удорожания воды, на основе сравнения издержек производства для промышленности Гонконга. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при перерывы в водо-

снабжении приводят к росту издержек, который в два раза превышает повышение издержек при ценовом регулировании.

Следует отметить, что используемые при оценке выигрыша параметры эластичности спроса на воду в действительности могут варьироваться в зависимости от сезона, дохода и других характеристик потребителей, а также от характеристик региона. Это означает, что оценки потерь от рационирования, полученные для одной ситуации, не могут быть автоматически распространены на другие. В частности, как показывают исследования (смотри, к примеру, (Dixon, Moore, Pint, 1996, p. 86; Mansur, Olmsted, 2007, p. 15) спрос на воду (особенно на воду, используемую для полива, устройства бассейнов и фонтанов) менее чувствителен к цене в летний период. В результате оценки потерь в потребительском излишке от повышения тарифов, полученные для разных сезонов, существенно различаются: наибольшие потери при засухе 1991 г. в Калифорнии соответствовали наиболее жаркому периоду с июля по октябрь (Dixon, Moore, Pint, 1996, p. 92).

Ценовая эластичность спроса на воду также существенно зависит от дохода: для бедных групп населения эластичность выше, чем для богатых. Кроме того, эластичность спроса на воду для полива и устройства бассейнов существенно зависит от размера собственности: чем больше площадь владения, тем меньше эластичность спроса на воду (Mansur, Olmsted, 2007, p. 16). При введении одинакового количественного ограничения на использования воды вне дома (например, не более чем два раза в неделю) в силу неоднородности потребителей такое ограничение не для всех оказывается сдерживающим. В результате выигрыш агентов от замены количественных ограничений на тарифное регулирование существенно варьируется для разных групп населения: для богатых домохозяйств с большими владениями этот выигрыш оказался почти в 10 раз выше, нежели для богатых домохозяйств с маленькими владениями (см.: Mansur, Olmsted, 2007, p. 41).

Близкий результат получен и в работе (Brennan, Tapsuwan, Gordon, 2007), где показано, что богатые домохозяйства оказываются в выигрыше от замены рационирования на тарифное регулирование, в то время как домохозяйства со средним и низким достатком могут при этом проиграть.

Наконец, важно учитывать особенности региона. Например, в случае густонаселенного города меры, связанные с ограничением использования воды для полива, вряд ли приведут к существенному ограничению водопотребления.

### **Имитационное моделирование схем рационирования**

Проанализированные выше схемы рационирования воды и соответствующие оценки потерь получены авторами на основе разной методологии, и, как правило, каждый раз авторы рассматривают лишь какой-то один вариант количественного рационирования, сопоставляя его с ценовым регулированием. При этом авторы единодушны в том, что ценовое регулирование является предпочтительным способом распределения воды в условиях дефицита. Однако если по каким-то причинам ценовое регулирование не может быть использовано, то возникает вопрос относительно того, какую из схем количественного рационирования следует выбрать? Проанализируем, как различные схемы рационирования влияют на общественное благосостояние в рамках представленной ниже модели частичного равновесия

Итак, пусть каждый агент  $k$  ( $k = 1 \dots M$ ) выбирает объемы водопотребления  $x^k$ , максимизируя свой излишек при заданном линейном тарифе на воду со ставкой  $p$ :

$$\max_{x_k(t) \geq 0} \int_0^T (v_k(x_k(t)) - px_k(t)) dt, \quad (1)$$

где  $T$  — длина периода (например, месяц), а мгновенная полезность от водопотребления  $v_k$  предполагается возрастающей и строго вогнутой функцией. Для удобства будем считать, что все агенты проранжированы в соответствии с их оценками водопотребления в порядке возрастания, то есть  $v'_1 < v'_2 < \dots < v'_M$ . Далее для простоты примем длину периода, равной единице.

Решая задачу, находим, что при отсутствии ограничений потребители предпочитают сглаженную траекторию потребления:  $x_k(t) = x_k$ , где  $x_k$  — решение уравнения:

$$v'_k(x_k) = p. \quad (2)$$

Подставляя найденные значения водопотребления в целевую функцию задачи (1) и суммируя по всем потребителям, находим совокупный излишек потребителей в экономике:

$$CS(p) = \sum_{k=1}^M (v_k(x_k) - px_k).$$

Просуммируем решения задач  $x_k$  по всем агентам и найдем совокупное водопотребление при отсутствии ограничений, которое обозначим через  $X$ . Рассмотрим ситуацию дефицита водных ресурсов, предполагая, что фактическое предложение составляет некую долю  $\beta$  ( $0 < \beta < 1$ ) от величины  $X$ . Для устранения дефицита посредством повышения цен необходимо найти тариф  $p_\beta$ , при котором совокупный спрос был бы равен  $\beta X$ , то есть  $p_\beta$  является решением уравнения:

$$\sum_{k=1}^M v_k{}^{-1}(p_\beta) = \beta X.$$

Затем, подставляя найденный тариф  $p_\beta$  и величину спроса  $x_k(p_\beta)$ , найденную из уравнения (2), в целевую функцию, получаем потребительский излишек агента  $k$ :  $CS_k(p_\beta)$ . Заметим, что повышение тарифа позволило водоснабжающим компаниям получить дополнительный доход. Это означает, что, если, к примеру, в первоначальной ситуации тарифы были установлены таким образом, чтобы гарантировать водоснабжающим компаниям покрытие издержек, то теперь у компаний образовалась прибыль, причем эта прибыль может быть использована для выплаты компенсации потребителям. Тогда излишек потребителей с учетом этих компенсаций составит:

$$CS^{comp}(\beta) = \sum_k CS_k(p_\beta) + (p_\beta - p)\beta X \quad (3)$$

Если по каким-то причинам изменение тарифов невозможно, то при распределении дефицитного ресурса будет использоваться какой-то вариант рационирования. Простейшим способом является введение универсальных квот, которые определяют предельно допустимый уровень водопотребления для каждого пользователя. Заметим, что квота для некоторых агентов может превышать желаемый уровень водопотребления. Для таких агентов фактический уровень водопотребления окажется ниже квоты. Поскольку желаемый уровень водопотребления является решением уравнения  $v'_k(x_k) = p$ , то в силу убывания предельной полезности водопотребления и упорядоченности оценок потребителей имеем  $x_1 < x_2 < \dots < x_M$ . Это означает, что квота может быть

не исчерпана лишь первыми потребителями. Итак, пусть введенная квота  $\bar{x}$  оказалась выше уровня водопотребления первых  $n$  агентов и является сдерживающей для остальных, тогда совокупный уровень водопотребления составит:  $\sum_{k=1}^n x_k + \bar{x}(M-n)$ . Для каждого уровня дефицита  $\beta$  мы найдем квоту  $\bar{x}_\beta$  и число потребителей  $n_\beta$ , для которых квота не является эффективной, такие, что  $\sum_{k=1}^{n_\beta} x_k + \bar{x}_\beta(M-n_\beta) = \beta X$ . В результате введения таких квот благосостояние  $n_\beta$  первых потребителей не изменится, а остальных — сократится в силу снижения объемов водопотребления. В результате совокупный потребительский излишек при универсальном рационировании будет равен:

$$CS^{univ}(\beta) \equiv \sum_{k=1}^{n_\beta} CS_k(p) + \sum_{k=n_\beta+1}^M CS_k(\bar{x}_\beta), \quad (4)$$

где  $CS_k(\bar{x}_\beta) = v_k(\bar{x}_\beta) - p\bar{x}_\beta$ .

В качестве одной из альтернатив универсальным квотам можно рассмотреть пропорциональное рационирование  $x_k^{prop} = \beta x_k$ . В этом случае квота каждого агента составит фиксированную долю от его прежнего уровня водопотребления. В этом случае квоты будут эффективны для всех индивидов, и излишек потребителей составит:

$$CS^{prop}(\beta) \equiv \sum_{k=1}^M (v_k(\beta x_k) - p\beta x_k). \quad (5)$$

Наконец еще один способ распределения ресурса в условиях дефицита связан с ограничением времени его использования, то есть ресурс в течение рассматриваемого периода поставляется с перерывами. Начнем анализ этого способа регулирования со случая, когда потребители не пытаются накапливать воду в период ее подачи в целях последующего использования. Пусть период подачи воды составляет долю  $\tau$  от рассматриваемого временного промежутка. В этом случае в течение этого периода водопотребление будет таким же, как при отсутствии дефицита, а в остальные моменты времени водопотребление будет нулевым. Таким образом, при фактическом предложении  $\beta X$  получаем следующее соотношение для определения периода подачи воды:  $(1-\tau) \cdot 0 + \tau X = \beta X$ , откуда  $\tau = \beta$ . Результирующая величина излишка потребителей составит:

$$CS^{interrupt}(\beta) \equiv \beta \sum_{k=1}^M (v_k(x_k) - px_k) + (1-\beta) \sum_{k=1}^M v_k(0). \quad (6)$$

Обратимся к модификации предложенного выше механизма, где потребители пытаются сгладить скачки в водопотреблении, вызванные перерывами в водоснабжении за счет установки водонакопительного оборудования. Будем предполагать, что размер этого оборудования одинаков для всех агентов и составляет фиксированную долю  $\delta$  от усредненного объема водопотребления при отсутствии дефицита. В результате, если водоснабжение осуществляется лишь в течение доли времени  $\tau$ , то за счет водонакопительного оборудования каждому агенту на оставшемся интервале удастся поддерживать водопотребление на уровне  $x(\delta) = \frac{\tau \delta X}{(1-\tau)M}$ . Тогда период обслуживания, приводящий к сово-

купному водопотреблению, равному запасу воды  $\beta X$ , может быть найден из решения уравнения  $\tau\delta X + \tau X = \beta X$ , откуда  $\tau = \frac{\beta}{1+\delta}$ . Обозначив через  $I$  расходы, связанные с приобретением и установкой водонакопительного оборудования, получаем следующее выражение для излишка потребителей:

$$CS^{\text{inter-inv}}(\beta, \delta) \equiv \frac{\beta}{1+\delta} \sum_{k=1}^M (v_k(x_k) - px_k) + \left(1 - \frac{\beta}{1+\delta}\right) \sum_{k=1}^M (v_k(x(\delta)) - px(\delta)) - I. \quad (7)$$

Мы рассмотрели случай с одинаковыми инвестициями в водонакопительное оборудование, но агенты с разными оценками водопотребления могут выбрать разные объемы инвестирования. Рассмотрим, к примеру, ситуацию, при которой мощности водонакопительного оборудования пропорциональны индивидуальным объемам водопотребления. В этом случае агенты будут потреблять разное количество воды в период ее отключения:  $x_k(\delta) = \frac{\tau\delta x_k}{(1-\tau)}$ .

Несложно проверить, что величина  $\tau$  при этом не изменится, а в выражении (7) для излишка потребителей поменяется лишь компонента, относящаяся к водопотреблению при перерыве в водоснабжении, так как  $x(\delta)$  будет заменено на  $x_k(\delta)$ .

Для сопоставления приведенных выше вариантов рационирования с тарифным регулированием рассмотрим два примера, различающихся спецификацией функций спроса (2). Для простоты в обоих примерах будем рассматривать лишь две группы потребителей. В первом случае рассмотрим группы с одинаковой ценовой эластичностью спроса, а во втором — с различной. В обоих случаях параметры подобраны таким образом, чтобы как эластичность совокупного спроса, так и величины спроса в начальной точке были бы одинаковы. Следуя обзору эмпирических исследований эластичности спроса на воду (Dalhuisen, Flögaх, Groot, Nijkamp 2003), значение эластичности спроса в начальной точке положено равным  $-0,4$ . При этом эластичность (взятая по модулю) растет при повышении цены, что также вполне согласуется с эмпирическими результатами. Параметры рассматриваемых примеров отражены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры моделей и начальное равновесие

Пример 1	Пример 2
$x_k = \theta_k(a - bp)$	$x_k = a_k - bp$
$\theta_1 = 1$	$a_1 = 32$
$\theta_2 = 2$	$a_2 = 52$
$b = 4/15, a = 28$	$b = 0,4$
Начальный тариф: $p = 30$ руб./м <sup>3</sup>	
Начальное водопотребление агента за месяц: $x_1 = 20$ м <sup>3</sup> , $x_2 = 40$ м <sup>3</sup>	

Далее рассмотрим несколько возможных уровней дефицита воды: от незначительного дефицита в 5 % от планируемого водопотребления до острого

дефицита, составляющего 40 % от величины спроса. Уровень дефицита рассчитывается как процентное отклонение величины предложения от величины спроса, вычисленной при существующих тарифах, то есть эта величина равна  $(1-\beta)*100$  %. Для каждой из спецификации спроса найдем тарифы, позволяющие устранить этот дефицит, и вычислим соответствующие значения излишка потребителей с учетом компенсации, подставив найденные тарифы в выражение (3). Далее вычислим потери в излишке потребителей (с учетом компенсаций) в процентах от первоначальной величины. Полученные результаты представлены в табл. 3. Заметим, что при небольшом дефиците не наблюдается существенной разницы ни в терминах повышения тарифов, ни в терминах потерь для двух рассмотренных спецификаций спроса. Однако при уровне дефицита свыше 20 % различие становится существенным.

Таблица 3

**Потери в излишке потребителей (в процентах от первоначальной величины)  
при различных способах регулирования дефицита**

Дефицит воды, %	Тариф, устраняющий дефицит, руб./м <sup>3</sup>	Потери при повышении тарифа, %	Потери при универсальных квотах, %	Потери при пропорциональных квотах, %	Потери при перерывах в водоснабжении, %		
					вариант (а)	вариант (б)	вариант (в)
<b>Случай спроса с одинаковой ценовой эластичностью (пример 1)</b>							
5	33,8	0,3	0,4	0,3	0,5	2,5	1,8
10	37,5	1,0	1,5	1,0	10,3	6,3	5,8
15	41,3	2,3	3,4	2,3	16,3	11,4	11,1
20	45,0	4,0	6,0	4,0	22,7	17,4	17,1
25	48,8	6,3	9,4	6,3	29,5	23,9	23,7
30	52,5	9,0	13,5	9,0	36,6	30,9	30,7
35	56,3	12,3	17,5	12,3	43,8	38,0	37,9
40	60,0	16,0	20,5	16,0	50,5	44,8	44,8
<b>Случай спроса с различной эластичностью (пример 2)</b>							
5	33,8	0,2	0,5	0,3	5,0	3,0	1,8
10	37,5	0,9	1,8	1,0	10,4	7,1	5,9
15	41,3	2,0	4,1	2,3	16,5	12,6	11,3
20	45,0	3,6	7,2	4,0	23,2	18,9	17,6
25	48,8	5,6	11,3	6,3	30,4	25,8	24,6
30	52,5	8,1	16,2	9,0	37,9	33,1	31,9
35	56,3	11,0	21,0	12,3	45,5	40,6	39,5
40	60,0	14,4	24,4	16,0	52,6	47,7	46,7

В качестве альтернативы повышению тарифов были рассмотрены следующие способы регулирования: политика универсальных квот, пропорциональное рacionamento и ограничение подачи воды. В последнем случае рассматривались три варианта: (а) отсутствие водосберегающего оборудования, (б) наличие одинакового водосберегающего оборудования у всех потребителей и (в) наличие оборудования, мощности которого пропорциональны индивидуальным объемам водопотребления до введения ограничения. Для каждого из рассмотренных случаев найдены соответствующие величины излишков потребителей согласно формулам (4) — (7). В таблице 3 приведены потери в излишке потребителей в процентах от его первоначального значения.

Следует отметить, что при анализе политики временного ограничения водоснабжения мощность водонакопительного оборудования принималась равной 10% от среднего объема водопотребления в случае (б) и от индивидуального объема в случае (в). Кроме того, при расчете излишков потребителей не были учтены инвестиционные расходы. В результате фактические потери при данных схемах будут выше значений, представленных в таблице.

Сопоставляя полученные результаты, следует отметить, что тарифное регулирование с учетом компенсаций при любой спецификации спроса дает наименьший уровень потерь. Однако в случае спроса с одинаковой эластичностью столь же эффективным является пропорциональное рacionamento. Этот эффект объясняется тем, что функции спроса всех потребителей в примере 1 характеризуются одинаковой ценовой эластичностью в то время как в примере 2 эластичности различаются.

Действительно, пусть спрос агента  $k$  имеет вид  $x_k = \theta_k f(p)$ , где  $f'(p) < 0$ , тогда, несмотря на различие в функциях спроса, ценовая эластичность спроса разных потребителей при одном и том же тарифе  $p$  будет одинакова. Покажем, что в этом случае при любом уровне дефицита ресурса повышение тарифов и пропорциональное рacionamento приведут к одинаковым уровням водопотребления для каждого агента. Для заданного значения  $\beta$  находим

соответствующий тариф  $p_\beta$  как решение уравнения  $f(p_\beta) \sum_{k=1}^M \theta_k = \beta X$ , причем  $X = \sum_{k=1}^M x_k(p) = f(p) \sum_{k=1}^M \theta_k$ , откуда  $f(p_\beta) = \beta f(p)$ , что влечет искомым результат:  $x_k(p_\beta) = \theta_k f(p_\beta) = \beta \theta_k f(p) = \beta x_k(p)$ .

Во втором примере пропорциональные квоты также оказываются лучше универсальных, поскольку позволяют принимать во внимание разницу в оценках водопотребления, но влекут большие потери по сравнению с тарифным регулированием, так как в рассматриваемом примере эластичность спроса двух групп различается (первая группа имеет более эластичный спрос). В результате квоты, пропорциональные прежним уровням потребления, оказываются отличны от эффективных, что и приводит к более высоким потерям.

Наименее эффективным способом регулирования дефицита при любой спецификации спроса выступает политика периодического отключения водоснабжения. Потери потребителей снижаются при наличии возможности перераспределения воды между периодами (последние два столбца в табл. 3), однако в расчетах не учтены издержки, связанные с приобретением, установкой и эксплуатацией этого оборудования, а потому фактические потери будут несколько выше.

### Заключение

Рассмотрев различные варианты регулирования дефицита воды, вызванного временным снижением предложения (например, в силу засухи), и оценив потери в общественном благосостоянии, можно сделать вывод, что наилучшим способом является тарифное регулирование. Однако этот вариант при отсутствии компенсационных выплат потребителям может повлечь существенное сокращение их благосостояния, так как в силу роста тарифов происходит перераспределение излишка от потребителей к водоснабжающим компаниям. Эта проблема может быть решена путем выплат субсидий потре-

бителям. Практический опыт показывает, что тарифная политика не является популярной мерой управления спросом в периоды засухи.

В качестве альтернативы ценовому регулированию рассмотрены различные варианты рационирования: универсальные и пропорциональные квоты, а также перерывы в подаче воды (как при наличии водонакопительного оборудования, позволяющего частично компенсировать перерывы в подаче воды, так и при отсутствии такой возможности). Результаты имитационного моделирования показывают, что наилучшей схемой рационирования является система пропорциональных квот. В частности, при одинаковой ценовой эластичности спроса для разных групп в рассмотренной модели пропорциональные квоты совпадают с эффективными (то есть мы получаем то же распределение ресурса, что и при повышении тарифов). При различных эластичностях спроса потери при пропорциональных квотах оказываются несколько выше, чем в случае тарифного регулирования, но ниже, чем при других вариантах рационирования. Следует отметить, что наихудшим из рассмотренных вариантов является политика перерывов в подаче воды.

Несмотря на то что политика перерывов в подаче воды (даже при наличии водонакопительного оборудования) приводит к большим потерям по сравнению с другими вариантами, именно этот способ рационирования широко используется в развивающихся странах. По-видимому, причина состоит в том, что другие схемы рационирования, так же как и тарифное регулирование, требуют установки водоизмерительных приборов, которые, как правило, имеет небольшая доля населения в развивающихся странах. Кроме того, эти варианты требуют определенных расходов, связанных с мониторингом и контролем, в то время как ограничения в подаче воды позволяют регулировать объемы водопотребления без дополнительных затрат.

### Источники

*Фридман А. А.* Реформирование тарифной политики на услуги водоснабжения: сравнительный анализ // Экономический журнал ВШЭ. 2008. Т. 12. № 4. С. 471—487.

*Beecher J. A., Mann P. C., Hegazy Y., John D.* Revenue Effects of Water Conservation and Conservation Pricing: Issues and Practices / Report 94—18. National Regulatory Research Institute, Columbus, Ohio, 1994.

*Brennan D., Tapsuwan S., Gordon I.* The Welfare Costs of Urban Outdoor Water Restrictions // Australian Journal of Agricultural and Resource Economics. 2007. Vol. 51. P. 243—61.

*Dalhuisen J. M., Florax R., de Groot H., Nijkamp P.* Price and Income Elasticities of Residential Water Demand: A Meta-analysis // Land Economics. 2003. Vol. 79. P. 292—308.

*Dixon L. S., Moore N. Y., Pint E. M.* Drought Management Policies and Economic Effects in Urban Areas of California, 1987—1992. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 1996.

*Grafton R. Q., Ward M.* Prices versus rationing: Marshallian surplus and mandatory water restrictions // *Economic Record*, 2008. Vol. 84. P. 57—65.

*Halich G., Stephenson K.* The Effectiveness of Drought Management Programs in Reducing Residential Water-Use in Virginia / VWRRC Special Report SR29—2006, Blacksburg, Virginia, 2006.

*Lund J. R., Reed R. U.* Drought Water Rationing and Transferable Rations // Journal of Water Resources Planning and Management. 1995. Vol. 121. N 6. P. 429—437.

*Mansur E. T., Olmstead S. M.* The Value of Scarce Water: Measuring the Inefficiency of Municipal Regulations / NBER Working Paper № 13513. 2007.

*Morris I., Lund J. R.* Recent California Water Transfers: Implications for Water Management // Natural Resources Journal. 1995. Vol. 35. N 1. P. 1—32.

OECD. Financing Water Supply and Sanitation in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia / Proceedings From a Conference on EECCA Ministers of Economy/finance and environment and their partners. 2006.

---

*Polterovich V. M.* Rationing, Queues, and Black Markets // *Econometrica*. 1993. Vol. 61. N 1. P. 1—28.

*Roibas D., Garcia-Valinas M. A., Wall A.* Measuring Welfare Losses From Interruption and Pricing as Responses to Water Shortages: an Application to the Case of Seville // *Environmental Resource Economics*. 2007. Vol. 38. P. 231—243.

*Whittington D., Mu X., Roche R.* Calculating the Value of Time Spent Collecting Water: Some Estimates for Ukunda, Kenya // *World Development*. 1990. Vol. 18. N 2. P. 269—280.

*Woo C.-K., Lo K. W. K.* Factor Supply Interruption, Welfare Loss and Shortage Management // *Resource and Energy Economics*. 1993. Vol. 15. P. 339—352.

*Woo C.-K.* Managing Water Supply Shortage. Interruption vs. Pricing // *Journal of Public Economics*. 1994. Vol. 54. P. 145—160.