

ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.А.Фридман

МОДЕЛИ
ЭКОНОМИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ
ВОДНЫМИ
РЕСУРСАМИ



Издательский дом Высшей школы экономики
Москва 2012

УДК 330.15
ББК 65.45
Ф88

Рецензент:

Доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой микроэкономического анализа НИУ ВШЭ

М.И. Левин

ISBN 978-5-7598-0903-6

© Фридман А. А., 2012
© Оформление. Издательский дом
Высшей школы экономики, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	8
Глава 1. Экономические характеристики водных ресурсов и необходимость государственного регулирования	10
1.1. Вода как экономический ресурс	10
1.1.1. Источники водных ресурсов и их использование	10
1.1.2. Водные ресурсы и права собственности	16
1.1.3. Права собственности и проблема внешних воздействий	18
1.1.4. Неопределенность предложения	18
1.1.5. Изменение качества водных ресурсов	20
1.1.6. Экономия на масштабе и инвестиции в проекты	22
1.2. Проблема редкости водных ресурсов	24
1.2.1. Дефицит или редкость?	24
1.2.2. Индикаторы редкости водных ресурсов	25
1.2.3. Регулирование дефицита водных ресурсов	30
1.2.4. Варианты рационарирования водных ресурсов	33
1.2.5. Оценка потерь при различных способах регулирования дефицита	35
1.2.6. Имитационное моделирование схем рационарирования	40
Глава 2. Использование подземных вод	47
2.1. Проблема истощения и эффективное использование пополняемого подземного источника	48
2.1.1. Описание модели с единственным водопользователем	48
2.1.2. Стационарное состояние	49
2.1.3. Описание модели с множеством идентичных водопользователей	50
2.1.4. Стационарное состояние	51
2.2. Общедоступный подземный источник	51
2.2.1. Проблема трагедии общины	51
2.2.2. Равновесие с закрытым входом	52
2.2.3. Равновесие с открытым входом и сравнительный анализ	54
2.3. Изменение качества воды	55
2.3.1. Описание модели с переменным качеством	55
2.3.2. Сравнение со случаем неизменного качества	56
2.3.3. Общедоступный подземный источник при переменном качестве	57
2.3.4. Качество воды как переменная выбора	59
2.3.5. Равновесие в модели с выбором уровня загрязнения	60

2.4. Эмпирические оценки потерь при общедоступности подземных вод	61
2.4.1. Эффект Гиссера-Санчеза	61
2.4.2. Сравнительный анализ эмпирических результатов	63
Глава 3. Совместное использование подземных и поверхностных вод	64
3.1. Модель совместного управления подземными и поверхностными водами	65
3.1.1. Описание модели с двумя источниками водоснабжения	65
3.1.2. Последовательность использования источников	67
3.1.3. Эффективные траектории водопотребления	69
3.2. Неопределенность относительно издержек поверхностного водоснабжения	72
3.2.1. Описание модели	72
3.2.2. Последовательность использования ресурсов	73
3.2.3. Сравнительная статика	75
3.3. Экономическая оценка редкости водных ресурсов	76
3.3.1. Принцип Хотеллинга	76
3.3.2. Эмпирическая проверка принципа оценивания Хотеллинга	78
3.3.3. Оценка ренты для водных ресурсов, как составляющей цены	80
Глава 4. Тарифы на воду при дифференциации потребителей	82
4.1. Дифференциация тарифов при неоднородности потребителей	83
4.1.1. Модель эффективного ценообразования с неоднородными потребителями	83
4.1.2. Основные результаты	85
4.1.3. Случай неэффективного ограничения на объем стока поверхностных вод	87
4.1.4. Классификация ситуаций в зависимости от стока поверхностных вод	89
4.1.5. Эффективное ограничение на сток: отказ от использования альтернативного ресурса	91
4.1.6. Эффективное ограничение на сток и использование альтернативного ресурса	96
4.2. Принцип Герфиндаля и дифференциация потребителей	99
4.2.1. Описание принципа Герфиндаля	99
4.2.2. Причины нарушения принципа Герфиндаля	101
4.3. Анализ сравнительной статистики	102
4.3.1. Изменение запаса подземных вод	102
4.3.2. Изменение издержек	104
4.3.3. Изменение коэффициентов безвозвратного водопотребления	106
4.3.4. Результаты анализа сравнительной статистики	106
4.3.5. Дифференциация тарифов: количественная оценка	107
4.4. Роль местоположения потребителя в формировании цен на услуги водоснабжения	108
4.4.1. Описание модели с пространственной дифференциацией потребителей	109
4.4.2. Распределение водных ресурсов	111

Глава 5. Измерение водопотребления	114
5.1. Оптимальность установки водосчетчиков	115
5.1.1. Описание модели	115
5.1.2. Коллективные водоизмерительные приборы	116
5.2. Децентрализация решения об установке счетчиков	119
5.2.1. Случай симметричной информации	119
5.2.2. Влияние тарифов на стимулы к установке водоизмерительных приборов	120
5.2.3. Случай асимметричной информации	121
5.3. Роль приборов учета воды в водосбережении: теория и практика	126
5.3.1. Точность водоизмерительных приборов	127
5.3.2. Водоизмерительные приборы и водопотребление	127
Глава 6. Тарифная политика и варианты реформирования	130
6.1. Сравнительный анализ реформирования тарифной политики	131
6.1.1. Альтернативные варианты реформирования тарифной политики	131
6.1.2. Анализ либерализации тарифов	132
6.1.3. Анализ рაციонируемого водопотребления	133
6.1.4. Сравнительный анализ двух схем	135
6.2. Реформирование тарифов на воду и социальная защита	137
6.2.1. Меры социальной защиты	137
6.2.2. Модель водопотребления с ограничением на минимальный уровень	138
6.2.3. Характеристики эффективных тарифов	140
6.2.4. Сравнительный анализ мер социальной защиты	142
Глава 7. Механизмы распределения ресурсов	146
7.1. Приватизация и конкуренция в секторе ВКХ	146
7.1.1. Роль частного сектора в ВКХ	146
7.1.2. Влияние формы собственности на эффективность	150
7.2. Приватизация: выбор формы собственности	155
7.2.1. Теоретический подход	155
7.2.2. Теория трансакционных издержек: эмпирическая проверка	155
7.3. Сравнительный анализ механизмов распределения водных ресурсов	157
7.3.1. Описание модели	157
7.3.2. Эффективное распределение	160
7.3.3. Децентрализованные механизмы распределения	161
7.3.4. Сравнение альтернативных механизмов управления водными ресурсами	165
Глава 8. Водосберегающие технологии и эффективное водопотребление	170
8.1. Эффективные тарифы при наличии технологии оборотного водоснабжения	171
8.1.1. Описание модели с технологией оборотного водоснабжения	173
8.1.2. Основные результаты	177

8.1.3. Характеристики эффективной траектории: случай высокой пропускной способности технологии оборотного водоснабжения	181
8.1.4. Характеристики эффективной траектории: случай низкой пропускной способности технологии оборотного водоснабжения	183
8.1.5. Децентрализация	185
8.1.6. Сравнение со случаем отсутствия технологии оборотного водоснабжения	186
8.2. Ограничение на мощность технологии оборотного водоснабжения	188
8.2.1. Описание модели с ограничением на мощность технологии оборотного водоснабжения	188
8.2.2. Основные результаты для модели с ограничением на мощность	190
8.2.3. Характеристики эффективной траектории: случай большой мощности	194
8.2.4. Характеристики эффективной траектории: случай сдерживающего ограничения на мощность	196
8.2.5. Анализ сравнительной статистики	199
Глава 9. Инвестиционные проекты: роль государства	204
9.1. Строительство водоотводного канала: эффективность и равновесие	205
9.1.1. Описание модели	205
9.1.2. Анализ эффективной траектории	206
9.1.3. Реализация инвестиционного проекта частной компанией	209
9.1.4. Сравнение равновесного распределения с эффективным	210
9.2. Инвестиции в водосберегающие технологии	211
9.2.1. Описание модели с инвестициями в водосбережение	212
9.2.2. Децентрализация решения об инвестициях	215
9.2.3. Государственное регулирование	218
Глава 10. Загрязнение водных ресурсов и государственное регулирование	219
10.1. Уровень децентрализации природоохранных решений	220
10.2. Эффективное распределение водоохранного бюджета	223
10.2.1. Описание модели	223
10.2.2. Характеристики эффективного распределения ресурсов	225
10.3. Влияние параметров модели на уровень загрязнения	226
10.3.1. Бюджет природоохранной деятельности	227
10.3.2. Коэффициент естественного природного регулирования	227
10.3.3. Экологические предпочтения	228
10.4. Анализ децентрализованного регулирования	230
10.4.1. Описание модели	230
10.4.2. Децентрализация при несовершенной информации о предпочтениях	232
10.5. Распределение бюджета при несовершенной информации о качестве стоков	235
10.5.1. Инструменты политики в области охраны водных ресурсов	235

10.5.2. Модификация модели с учетом несовершенной оценки качества стоков	237
10.5.3. Сравнение со случаем полной информации	239
10.5.4. Пример	242
Глава 11. Приложения	246
11.1. Статическая оптимизация	246
11.1.1. Задача безусловной оптимизации	246
11.1.2. Задача условной оптимизации с ограничениями-равенствами	247
11.1.3. Задача условной оптимизации с ограничениями-неравенствами	247
11.1.4. Существование и единственность решения задачи статической оптимизации	249
11.1.5. Значение задачи и сравнительная статика	250
11.2. Динамическая оптимизация	251
11.2.1. Задача оптимального управления	251
11.2.2. Достаточные условия оптимальности	252
11.2.3. Варианты конечных условий	253
11.2.4. Задача с бесконечным временным горизонтом	253
11.2.5. Задача оптимального управления для случая многих переменных	256
11.2.6. Задача оптимального управления при дополнительных ограничениях	257
11.2.7. Сравнительная динамика	259
11.2.8. Сравнительная динамика: начальные и конечные условия	260
11.2.9. Альтернативные варианты целевого функционала	260
11.2.10. Динамическое программирование и принцип Беллмана	261
11.2.11. Стохастическое оптимальное управление	263
11.2.12. Принцип максимума Понтрягина для задачи стохастического оптимального управления	263
11.2.13. Стохастическое оптимальное управление для процессов со скачками	264
11.3. Некоторые полезные факты из микроэкономики	265
11.3.1. Модель частичного равновесия	265
11.3.2. Централизованное распределение ресурсов	266
11.3.3. Индикатор общественного благосостояния	267
11.3.4. Равновесное распределение ресурсов	268
11.3.5. Равновесие и оптимальность	270
11.3.6. Экстерналии в модели частичного равновесия	270
Список литературы	273

Предисловие

Вода как экономический ресурс обладает множеством особенностей, которые не позволяют использовать для ее анализа стандартные микроэкономические модели. При этом вопросам эффективного использования водных ресурсов до последнего времени не уделялось должного внимания ни в отечественной, ни в западной экономической литературе. В то же время актуальность этого вопроса сегодня как никогда высока: во многих регионах мира дефицит чистой пресной воды превратился из гипотетической возможности в проблему сегодняшнего дня.

Несмотря на актуальность данной проблемы и возрастающий интерес (причем не только со стороны профессиональных экономистов), литература по водным ресурсам носит преимущественно технический характер. Это, как правило, издания, в которых описаны системы водоснабжения и водоотведения, или же вопросы гидрологии. Одной из попыток заполнить возникшую брешь в экономических исследованиях по данной тематике является книга В.И. Данилова-Данильяна и К.С. Лосева «Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты», вышедшая в 2006 г. в издательстве «Наука». В ней предлагается многосторонний подход к проблематике водных ресурсов, включающий в том числе и экономическую составляющую. При этом анализ ограничивается глобальным уровнем с выделением проблем водопользования в странах СНГ. В нашем исследовании рассматривается проблематика экономики водных ресурсов в микроэкономическом разрезе, т. е. детально изучаются экономические стимулы, порождающие те или иные решения агентов. Такой подход позволяет не только идентифицировать имеющиеся проблемы, но и предложить эффективные способы государственного регулирования.

Исследование начинается с анализа экономических характеристик водных ресурсов и соответствующих проблем, требующих государственного регулирования. Далее во второй главе рассматривается базовая модель использования истощаемых подземных вод, исследуется вопрос истощения подземных вод при разных режимах доступа к подземному источнику и возможности изменения качества воды. В третьей главе на основе модификации базовой модели изучается вопрос эффективности совместного использования подземных и поверхностных вод.

В четвертой главе на основе динамических моделей с различными группами потребителей и несколькими источниками водных ресурсов (подземные воды, поверхностные воды и опресняемые морские воды) изучаются характеристики эффективных траекторий водопотребления и анализируются компоненты эффективных тарифов на воду. Успешность политики тарифного регулирования обусловлена оплатой услуг водоснабжения на основе фактического, а не нормативного водопотреб-

ления, что невозможно при отсутствии водоизмерительных приборов. В пятой главе обсуждается вопрос о различных вариантах установки водоизмерительных приборов, в частности, рассматриваются индивидуальные и коллективные водоизмерительные приборы, а также анализируется политика добровольной или обязательной установки этих приборов.

Шестая глава посвящена вопросам реформирования тарифной политики, в рамках которой сопоставляются варианты рacionamento водопотребления и либерализации тарифов с учетом высокой социальной значимости услуг водопотребления. Кроме того, в этой главе анализируются различные варианты социальной защиты населения. Седьмая глава посвящена дебатам о приватизации в секторе водно-коммунального хозяйства (ВКХ). В рамках этой главы также рассматривается вопрос об институциональных особенностях рынка водных ресурсов и проводится сравнительный анализ различных механизмов распределения ресурсов.

В отличие от многих других ресурсов вода не утилизируется полностью в процессе потребления, что позволяет использовать ее повторно после соответствующей обработки. В восьмой главе рассматривается модель водопользования, где помимо ресурса, забранного из природных источников, потребности в воде могут также удовлетворяться за счет применения технологии оборотного водоснабжения. Девятая глава посвящена вопросам выбора оптимального уровня инвестиций в крупные проекты в сфере ВКХ (например, в водосберегающие технологии) и роли государственной политики в создании соответствующих стимулов.

Еще одна особенность водных ресурсов заключается в изменчивости их качества в силу загрязнения ресурсов, с одной стороны, и наличия естественной природной абсорбции, с другой стороны. Исследованию проблемы динамики загрязнения поверхностных вод и роли государственной природоохранной политики посвящена десятая глава книги.

В целях расширения потенциальной читательской аудитории монография содержит ряд приложений. Во-первых, это техническое приложение, включающие описание используемых инструментальных методов. Во-вторых, в книгу включено приложение с описанием традиционных микроэкономических моделей и основных результатов, упоминаемых в тексте.

Автор выражает признательность всем, кто способствовал выходу в свет данной работы. Особая благодарность М. И. Левину, который натолкнул автора на столь интересное направление исследований, а впоследствии вдохновил на создание данной книги.

Автор благодарен научному фонду и факультету экономики НИУ ВШЭ за финансовую поддержку исследований, результаты которых нашли отражение в монографии.

Глава 1

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И НЕОБХОДИМОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Вода — это уникальный тип экономического блага. Источниками пресной воды являются как возобновляемые, так и истощаемые ресурсы, как природные ресурсы, так и искусственно создаваемые посредством использования современных технологий опреснения. Вода обладает текучестью, что создает дополнительные сложности в определении прав собственности. Вода не утилизируется полностью в процессе потребления, что порождает внешние эффекты, связанные с возвратными потоками. Этот ресурс характеризуется высокой изменчивостью как величины предложения, так и качества. Инвестиционные проекты в сфере водоснабжения, с одной стороны, требуют больших вложений и демонстрируют экономию на масштабе, а, с другой стороны, зачастую обладают характеристиками общественного блага. Эти и другие особенности воды как экономического ресурса рассматриваются в первом разделе главы.

По мере роста мировой экономики увеличиваются и потребности в пресной воде, и одновременно имеет место истощение и загрязнение природных источников. Эта тенденция обусловила множество исследований относительно оценки редкости водных ресурсов, обзор которых приведен во втором разделе. Отдельной проблемой является временный дисбаланс между спросом и предложением воды, возникающий, к примеру, в случае засухи. Подобный дисбаланс в условиях рыночных отношений устраняется за счет повышения цены ресурса. Однако в большинстве стран тарифы на воду регулируются правительством, а для устранения временного дефицита используются разнообразные схемы, сравнительный анализ которых представлен в конце главы.

1.1. Вода как экономический ресурс

1.1.1. Источники водных ресурсов и их использование. Долгое время экономисты не уделяли должного внимания вопросам эффективного использования водных ресурсов из-за высокой надельности

этим ресурсами. Однако следует учитывать, что большая часть запасов пресной воды практически недоступна для использования в силу глубокого залегания, либо вода представлена в форме льда. Эксплуатационные мировые запасы пресной воды составляют лишь одну сотую процента всех запасов воды на Земле¹. При отсутствии соответствующих стимулов ресурсы используются нерационально, что приводит к ухудшению их качества и истощению. Водные ресурсы неравномерно распределены по поверхности земли, поэтому острота проблем, связанных с истощением доступной для потребления пресной воды, неодинаково ощущается в разных регионах. Для проведения эффективной государственной политики в области управления водными ресурсами необходимо выявить специфические характеристики водных ресурсов, которые представляют собой уникальный тип экономического блага.

Вода является природным ресурсом, причем в силу естественного гидрологического цикла этот ресурс относится к воспроизводимым. Однако в результате негативного влияния антропогенной деятельности многие водные источники пресной воды перешли в разряд истощаемых.

Таблица 1.1. Периоды возобновления различных запасов воды

Вид запасов воды	Период возобновления, годы
Большие озера	120
Болота	5
Почво-грунты	1
Подземные воды в верхней части земной коры	1400
Полярные ледники	9700
Ледники горных районов	1600
Подземные льды зоны многолетней мерзлоты	10000
Наледи речных и подземных вод	1 год и более
Вода в руслах крупнейших рек	несколько дней

Основными источниками водных ресурсов являются речной сток и подземные воды. Как видно из табл. 1.1, период возобновления последних столь велик, что фактически переводит их в разряд невозпроизводимых ресурсов. Заметим, что подземные воды восполняются за счет осадков, но в силу испарения лишь небольшая часть дождевого стока просачивается в почву, питая подземные воды. Подземные воды могут выходить на поверхность в виде источников, а могут питать реки. В последнем случае существует тесная связь между подземными и поверхностными водами: истощение подземных вод может отрицательно сказываться на стоке поверхностных вод. Если обратиться к данным по запасам пресной воды для разных стран (см. табл. 1.2), то несложно

¹ Госдоклад «О состоянии и использовании водных ресурсов РФ в 2008 г.», с. 11.

Таблица 1.2. Внутренние возобновляемые водные ресурсы с распределением по природным источникам для ряда стран мира (2008 г.)

Страна	Внутренний сток поверхностных вод, % от совокупного стока	Подземные воды, % от совокупного стока	Перекрытие подземных и поверхностных вод, % от совокупного стока	Совокупные возобновляемые водные ресурсы, км ³ /год
Австралия	89	15	4	492,0
Австрия	100	11	11	55,0
Азербайджан	73	80	54	8,1
Армения	58	63	20	6,9
Белоруссия	100	48	48	37,2
Бельгия	100	8	8	12,0
Болгария	96	30	26	21,0
Великобритания	99	7	6	145,0
Венгрия	100	100	100	6,0
Германия	99	43	42	107,0
Греция	96	18	13	58,0
Грузия	98	30	28	58,1
Дания	62	72	33	6,0
Египет	28	72	0	1,8
Израиль	33	67	0	0,8
Италия	93	24	17	182,5
Казахстан	92	8	0	75,4
Китай	96	29	26	2813,0
Латвия	99	13	12	16,7
Литва	99	8	6	15,6
Польша	99	23	22	53,6
Республика Молдова	100	40	40	1,0
Российская Федерация	94	18	12	4313,0
США	94	49	44	2818,0
Таджикистан	95	9	5	66,3
Туркмения	74	26	0	1,4
Турция	82	30	12	227,0
Украина	94	38	32	53,1
Финляндия	100	2	2	107,0
Франция	99	60	59	200,0
Чешская Республика	100	11	11	13,2
Швейцария	100	6	6	40,4
Швеция	99	12	11	171,0
Эстония	92	31	24	12,7

Источник: База данных ООН по водным ресурсам AQUASTAT

<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>.

заметить, что во многих случаях запасы подземных и поверхностных вод демонстрируют существенное перекрытие. Например, в Венгрии наблюдается уникальная ситуация абсолютного перекрытия подземных и поверхностных внутренних возобновляемых источников. В некоторых странах, напротив, подземные и поверхностные источники практически не связаны. К таким странам, к примеру, относятся Египет, Израиль, Казахстан и Туркмения.

Если водоотбор из подземных вод превышает их естественное восполнение, то запас подземных вод начинает истощаться. Таким образом, природные источники воды разнообразны по своим экономическим характеристикам и в зависимости от размеров водоотбора могут выступать в качестве восполняемых или истощаемых природных ресурсов. Это означает, что известные в экономической теории принципы управления истощаемыми или возобновляемыми ресурсами невозможно напрямую применять к водным ресурсам, здесь требуется продуманная политика совместного управления ресурсами разных типов.

Кроме подземных и поверхностных вод по мере истощения и ухудшения качества традиционных источников все активнее прибегают к использованию опресненной морской воды. С учетом того, что большую часть поверхности планеты составляют моря и океаны, опресненная морская вода выступает в роли неистощаемого ресурса-заменителя. Создание новых технологий привело к снижению предельных издержек опреснения с 9 долл. за 1 м^3 в 1960 г. до 0,9 долл. в 2000 г. [Zhou, Tol, 2004, p. 228]. Совершенствование технологии опреснения способствовало стремительному росту инвестиций в строительство опреснительных заводов. Как показано на рис. 1.1, совокупные мощности опреснительных установок в мире за последние 60 лет возросли более чем в 1000 раз. Для некоторых стран опресненная морская вода стала

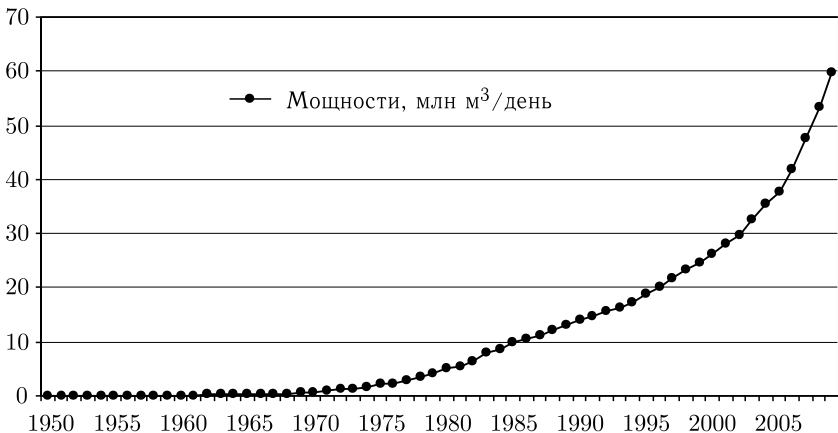


Рис. 1.1. Мировые мощности опреснения воды за период с 1950 по 2009 гг.
 Источник: [Gleick, Cooley, Katz, Tabl. 22, p. 315].

одним из основных источников воды. Так, к примеру, в ОАЭ в 2005 г. производство опресненной воды составляло практически треть объема водозабора из природных источников².

Помимо воды, забранной из природных источников, для удовлетворения потребностей в экономике используется повторно переработанная вода. Это возможно в силу того, что не вся забранная вода утилизируется в процессе производства. Таким образом, несмотря на то, что рассматриваемый ресурс не является товаром длительного пользования, забранная из природного источника вода может приносить выгоду не только в текущий момент, но и в будущем в силу неполной утилизации в процессе производства. Естественно, повторное использование воды сопряжено с дополнительными издержками в силу загрязнения или иного изменения качества воды (например, нагревания), имеющего место в результате водопотребления.

Водные ресурсы используют как транспортирующую или поглощающую среду, что не сопряжено с отводом вод и не влечет безвозвратного водопотребления. Примерами может служить судоходство, рыболовство, а также использование воды в рекреационных целях. Кроме того, вода как природный абсорбент используется для утилизации отходов. Однако основные направления водопользования связаны с водоотводом и сопровождаются безвозвратным водопотреблением.

В мировом масштабе основным потребителем воды является сельское хозяйство, что связано с орошаемым земледелием. Как показано на рис. 1.2, около 70% водозабора из природных источников идет на нужды сельского хозяйства, 19% используется в промышленности и лишь 11% используется на нужды коммунального хозяйства. Заметим, что последняя компонента довольно стабильна и варьируется в зависимости от континента от 9 до 17%. При этом две другие компоненты меняются существенно: в Европе вода преимущественно используется в промышленности, в то время как на других континентах, напротив, доминирует ее применение в сельском хозяйстве. Структура водопотребления в России близка к средневропейской: доминирующим водопользователем является промышленность, на долю которой в 2008 г. приходилось 68%³ забранной из природных источников воды, в сельском хозяйстве используется лишь 14%, и 18% идет на нужды коммунального хозяйства.

Одна из отличительных особенностей водных ресурсов состоит в том, что не вся забранная из природного источника вода утилизируется в процессе потребления. Часть воды возвращается обратно в источник, причем коэффициенты безвозвратного водопотребления существенно варьируются в зависимости от направления использова-

² См. базу данных ООН по водным ресурсам AQUASTAT <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data>.

³ По данным Росстата.

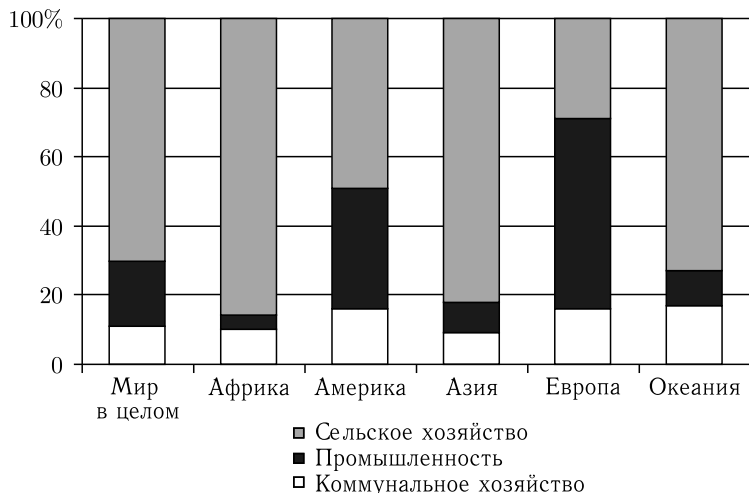


Рис. 1.2. Мировая структура водопотребления

Источник: база данных ООН по водным ресурсам AQUASTAT http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/AquastatWorldDataEng_20101129.pdf.

ния ресурса. Согласно данным, приведенным в работе Шикломанова [Shiklomanov, 1997], безвозвратный расход воды оказывается наибольшим в сельском хозяйстве (см. рис. 1.3), далее следует коммунальное хозяйство и промышленность.

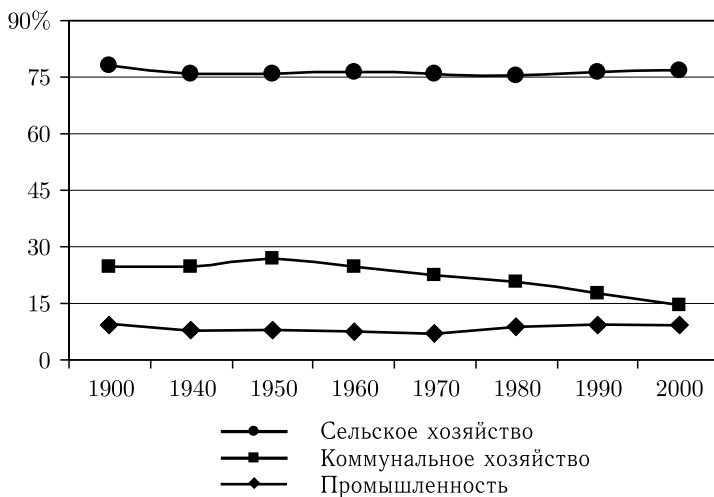


Рис. 1.3. Динамика уровня безвозвратного водопотребления за 1900–2000 гг.
Источник: Расчеты автора по данным [Shiklomanov, 1997].

Следует отметить, что уровни безвозвратного водопотребления в сельском хозяйстве и промышленности на протяжении последнего столетия оставались практически неизменными, в то время как в коммунальном хозяйстве этот показатель сократился примерно в 1,5 раза.

1.1.2. Водные ресурсы и права собственности. Во многих странах водные ресурсы находятся в собственности государства. Возможно, одной из причин подобной политики являются особенности водных ресурсов. Вода, в отличие от большинства других ресурсов, характеризуется непрерывным изменением как количества, так и качества ресурса. Это неизбежно создает сложности в надлежащем определении прав собственности, что является одним из необходимых условий эффективности функционирования рыночного механизма.

Следует отметить, что различные источники водных ресурсов существенно варьируются по степени изменчивости количества и качества водного стока. В частности, подземные воды не столь подвержены сезонным колебаниям, как сток поверхностных вод и имеют более устойчивые характеристики качества, поскольку менее подвержены загрязнению, чем поверхностные воды. В силу этих причин значительно легче определять и контролировать права собственности в отношении подземных источников. Во многих странах права собственности на подземные источники определяются вместе с правом собственности на землю, где эти источники находятся. В отличие от подземных источников права собственности на поверхностные воды обычно принимают форму прав пользования, т. е. права определяются в отношении потока, а не запаса, и регулируют порядок доступа к ежепериодному стоку поверхностных вод.

Наибольшее распространение имеют две системы прав: рипарианская и апроприативная⁴. Рипарианская система прав собственности возникла в Англии. Эта система предполагает, что собственник земли, на которой находится водный объект (озеро, река и т. д.) может пользоваться этим объектом на равных основаниях с другими агентами. Однако пользователи, находящиеся выше по течению, имеют первостепенное право на «разумное» использование воды по отношению к тем, кто проживает ниже по течению, поскольку последние позже получают право использования. Следует отметить, что при данной системе агент не теряет права на использование водных ресурсов в будущем, если не пользуется ими в настоящее время.

Альтернативой выступает апроприативная система прав, при которой право использования водного ресурса принадлежит тому, кто его открыл или начал использовать первым. В отличие от рипарианской доктрины при данной системе прав пользователь получает обозначенное количество воды в свое исключительное распоряжение. Однако

⁴ Описание эволюции прав собственности на воду приведено в статье [Scott, Coustalin, 1995].

если обладатель права не использует ресурс в полном объеме или не пользуется ресурсом в течение какого-то времени, то он может быть лишен права на его эксплуатацию в будущем.

Каждая из сложившихся систем имеет свои недостатки [Milliman, 1959]. Так, к примеру, рипарианская система прав может приводить к так называемой трагедии общины, при которой ресурс используется слишком интенсивно по сравнению с эффективным уровнем. Кроме того, при данной системе прав ресурс может использоваться только там, где он находится и невозможно строительство отводных каналов, что может служить еще одним источником неэффективности результирующего распределения.

Преимущество апроприативной схемы состоит в том, что она сохраняет стимулы к инвестированию в водные проекты, которые теряются при рипарианской системе в силу общественной собственности. С другой стороны, в случае апроприативной системы правообладатель может использовать больше воды, чем ему в действительности необходимо, дабы иметь возможность удовлетворить свои растущие потребности в будущем. Для борьбы с подобным неэффективным расходом воды обычно оговаривается, что водозабор возможен лишь в том случае, если водопотребление влечет потребительскую выгоду. Однако в действительности наличие подобной выгоды отслеживать довольно сложно.

Сравнивая две доктрины, можно отметить, что рипарианская система уместна при использовании водных ресурсов для купания, рыболовства, судоходства и в электроэнергетике, т. е. там, где использование воды не сокращает количество водных ресурсов, доступных другим агентам, или, иными словами, вода выступает в роли общественного товара. Апроприативная доктрина, напротив, разумна в тех случаях, где использование воды связано с водозабором и влечет некое безвозвратное водопотребление, т. е. в случае, где вода выступает как частное благо. Этот вариант имеет место при использовании воды в промышленности, сельском хозяйстве и жилищно-коммунальном хозяйстве.

В некоторых странах мы можем одновременно наблюдать использование обеих доктрин. Так, например, в США на востоке широкое распространение получила рипарианская система прав, а в западных штатах, напротив, более популярна апроприативная доктрина [Burness, Quirk, 1979, p. 25]. При этом в штатах, где используется апроприативная система прав, существуют ограничения на передачу или продажу этих прав. Эти ограничения, как правило, касаются изменения направления использования воды (например, промышленное использование вместо ирригационного) или передачи прав за рамками владения первоначального правообладателя. Кроме того, даже в тех штатах, где внутренние ограничения на передачу прав достаточно слабые, передача прав от одного штата к другому фактически невозможна.

1.1.3. Права собственности и проблема внешних воздействий.

Как показали Бернс и Квирк [Burness, Quirk, 1979] потери от неэффективности распределения ресурсов при апроприативной доктрине можно ликвидировать, если ввести торговлю правами собственности на воду, т. е., если бы апроприативная доктрина была дополнена системой конкурентных рынков, где бы агенты могли обмениваться правами на воду.

Однако отмена ограничений на передачу/торговлю правами на воду при апроприативной доктрине может, в свою очередь, служить причиной появления внешних воздействий. Одной из особенностей водных ресурсов является существование возвратных потоков в результате водопотребления. Если в результате торговли (например, при продаже воды в другой бассейновый округ) снизится возврат воды в реку, то это повлечет снижение объема воды, доступной для других правообладателей, не участвующих в данной сделке. Эту проблему Мейерс и Познер [Meyers, Posner, 1971] предлагали решать путем введения прав собственности на возвратные потоки. В статье Джонсона, Гиссера и Вернера [Johnson, Gisser, Werner, 1981] рассматривается более общий подход к решению проблемы эффективного распределения водных ресурсов, использующий в качестве объекта вместо воды, забираемой из природного источника, объем безвозвратного водопотребления, равный объему забранной из источника воды за вычетом возвратных вод. В этом случае торговля водой не меняет объем ресурса, доступный третьим лицам, а потому автоматически решается описанная выше проблема внешних воздействий.

Помимо экстерналий, связанных с возвратными потоками, как отмечают Гриффин и Боаду [Griffin, Boadu, 1992], следует учитывать выгоду агентов, которые потребляют воду без осуществления водозабора (например, в рекреационных целях). В этом случае важны не только объемы воды, доступные агентам для водоотвода, но и поток воды вдоль всей реки. Торговля водой (даже при должном обеспечении возвратных потоков) может привести к перераспределению речного стока и негативно повлиять на агентов, использующих воду в рекреационных целях.

Наконец следует также принимать во внимание, что возвратные потоки воды, как правило, являются загрязненными. Более того, водопользователи существенно варьируются не только по коэффициентам безвозвратного водопотребления, но и в терминах уровней и специфики загрязнения возвратных стоков. Как показано в работе Вебер [Weber, 2001], при наличии загрязнения эффективное распределение ресурсов достигается в случае, если торговля правами на воду дополняется торговлей правами на загрязнение.

1.1.4. Неопределенность предложения. Другая особенность воды состоит в изменчивости предложения во времени. Зависимость выпадения осадков и интенсивности испарения по сезонам приводит

к существенным колебаниям предложения водных ресурсов, главным образом, это отражается на стоке поверхностных вод. Помимо сезонных колебаний предложения, которые вполне прогнозируемы, стоки рек и связанные с ними уровни воды в подземных месторождениях существенно варьируются от года к году, вызывая порой резкие отклонения от среднесуточных значений. Эти отклонения могут вызывать наводнения в одних случаях и засуху — в других.

Если система прав предполагает определенную очередность доступа к водным ресурсам, то засуха не влияет на объемы потребления пользователей с высоким приоритетом, но при этом существенно сокращается водопотребление для пользователей с низким приоритетом, т. е. мы имеем дело с неэффективным распределением рисков. Эта проблема может быть решена при наличии неких механизмов торговли водой.

Другой подход к данному вопросу состоит в установлении прав пользования в терминах относительных (как доли стока данного периода), а не абсолютных (объем водозабора) величин. В этом случае изменение водостока автоматически сопровождается пропорциональным изменением водозабора, распределяя риски между всеми водопользователями. Подобная система, к примеру, используется в Чили и Мексике [Rosegrant, Binswanger, 1994]. Однако в случае экстремальной засухи законодательство обеих стран предусматривает возможность централизованного регулирования водоснабжения.

Проблема, связанная с резким падением стока поверхностных вод, в регионах, богатых подземными водами, может быть решена за счет эффективной комбинации двух источников водоснабжения. В этом случае подземные воды, запас которых менее чувствителен к изменению погодных и климатических условий, могут выступать в роли буфера, позволяющего сглаживать колебания в предложении поверхностных вод. Подобная роль подземных вод рассматривалась авторами как в статическом [Tsur, 1990], так и в динамическом [Tsur, Graham-Tomasi, 1991] контексте. В качестве оценки буферной стоимости подземных вод выступала разница между стоимостью запаса подземных вод в условиях неопределенности и стоимостью в условиях определенности, когда предложение подземных вод стабильно и равно матожиданию стохастического стока. Такой подход позволяет отделить ценность подземных вод как ресурса, позволяющего сгладить колебания стока поверхностных вод, от ценности этих вод как дополнительного источника, позволяющего увеличить средний уровень водопотребления.

Проведенные авторами расчеты свидетельствуют о том, что стабилизирующая ценность подземных вод может быть весьма значительна. Так, к примеру, в случае подземных источников в пустыне Негев (Израиль) в зависимости от степени изменения стока поверхностных вод и предельных издержек подземного водоснабжения буферная стоимость подземных вод может варьироваться от 5 до 84% их совокупной стоимости [Tsur, Graham-Tomasi, 1991]. Аналогичные оценки для месторождения подземных вод в округе Керн в Калифорнии (США) пока-

зывают, что стабилизационная роль подземных вод может составлять до 50% их совокупной стоимости [Tsur, 1993]. Существенный вклад буферной стоимости подземных вод в их совокупную оценку (около 25%) был также получен для подземного месторождения в районе города Коимбатор штата Тамил-Наду в Индии [Gemma, Tsur, 2007].

Таким образом, если управление подземными и поверхностными источниками осуществляется децентрализованно, то в условиях стохастического стока поверхностных вод будет иметь место недооценка запаса подземных вод, приводящая к слишком интенсивной эксплуатации этих вод. По сути, мы имеем дело с еще одним вариантом внешнего эффекта: запас подземных вод создает положительный внешний эффект, сглаживая колебания поверхностных вод при снижении их стока.

Неопределенность предложения может быть связана не только со стоком поверхностных вод, но и с подземными водами. Например, в случае слишком интенсивного использования подземных вод в прибрежной зоне морские воды могут проникать в подземные, вызывая их засоление, что делает воду непригодной для дальнейшего использования. Подобные необратимые изменения качества подземных вод рассмотрены, к примеру, в работе Цура и Земела [Tsur, Zemel, 1995]. Помимо необратимых изменений, возможны также обратимые изменения качества воды, устранение которых сопряжено с высокими издержками. В этом контексте необратимые изменения выступают как частный случай обратимых, но сопряженных с бесконечно большими издержками очистки. Заметим, что необратимое изменение воды может быть как эндогенным (например, возникать в результате слишком интенсивного водозабора), так и экзогенным (например, порождаться природной или технологической катастрофой) [Tsur, Zemel, 2004].

1.1.5. Изменение качества водных ресурсов. В предыдущем параграфе мы рассмотрели необратимое изменение качества подземных вод, делающее их непригодными для последующего использования. Однако качество может изменяться и непрерывно, например, в результате загрязнения, как побочного эффекта водопотребления. В этом случае мы фактически намеренно изменяем качество воды, используя уникальное качество водной среды — способность растворять загрязняющие вещества. Однако следует учитывать, что абсорбирующие свойства среды могут зависеть от интенсивности загрязнения.

Если подземный источник является общедоступным, то даже при неизменном качестве воды мы сталкиваемся с внешними воздействиями, поскольку водозабор каждого агента снижает объем воды, доступный всем агентам в будущем. Эта проблема известна в экономической теории как трагедия общины. Ее анализу применительно к подземным источникам посвящено множество работ [Milliman, 1956; Burt, 1964; Bredehoeft, Young, 1970; Brown, 1974; Gisser, Sanchez, 1980; Feinerman, Knapp, 1983; Brill, Burness, 1994; Koundouri, Christou, 2006 и др.]. В главе 2 подробнее проанализировано влияние режима доступа к под-

земному источнику на эффективность его использования, а также приводятся количественные оценки потерь при общедоступности ресурса.

Проблема становится более сложной, если помимо экстерналий, связанных с близоруким поведением, появляются внешние эффекты, сопряженные с изменением качества используемого ресурса. В работе [Roseta–Palma, 2002] исследуется проблема эффективности использования подземных вод с учетом эндогенного изменения их качества, и предлагается вариант совместного управления объемами водоотбора и качеством воды за счет введения соответствующей налоговой политики.

Проблема изменения качества водных ресурсов также важна и применительно к управлению поверхностными водами. Здесь следует учитывать, что, агенты, находящиеся вверх по течению реки, не только влияют на количество воды, доступное агентам ниже по течению, но и осуществляемые ими сбросы сточных вод определяют качество воды вниз по течению. Таким образом, мы сталкиваемся с накапливаемым направленным внешним воздействием. В этих условиях необходимо государственное регулирование, например в виде нормативов загрязнения или предельных уровней загрязнения. Для расчета нормативов необходимо определить эффективные уровни загрязнения, что требует наличия частной информации, например, об оценках ущерба от загрязнения. Однако получение этой информации при централизованном уровне принятия решений весьма затруднительно. Таким образом, с одной стороны, децентрализация позволила бы получить более точную оценку эффективного уровня загрязнения и, соответственно, установить более точные нормативы, но, с другой стороны, децентрализация решений повлечет игнорирование внешних для данного региона эффектов от загрязнения. Более подробно эта проблема рассмотрена в главе 10.

Кроме того, в случае децентрализованного регулирования конкуренция может стимулировать местные власти к установке менее жестких нормативов [Oats, Schwab, 1988] в ситуациях, когда природоохранная деятельность финансируется только за счет местных доходов, а доходы формируются исключительно от налогообложения мобильного капитала. Причина в том, что жесткие нормативы повышают издержки производства и способствуют оттоку капитала из региона. В результате сокращаются налоговые поступления, что приводит к снижению расходов на природоохранную деятельность.

Наконец, при различии качества воды в природных источниках (например, в подземных и поверхностных водах), при их совместном использовании и транспортировке по единому водопроводу качество воды, подаваемой потребителю, является средневзвешенной величиной их исходных значений. Подобное различие в качестве существенно влияет на траектории эффективного совместного управления различными источниками водоснабжения. Если при неизменном одинаковом качестве воды оптимальная политика требует сглаживания колебания стока поверхностных вод за счет водозабора из подземных источников

таким образом, чтобы уровень водопотребления оставался неизменным, то при различии в качестве воды это не обязательно так [Roseta–Palma, 2004].

Проблема управления качеством при транспортировке по одному водопроводу воды из различных источников при нескольких вариантах рыночных структур рассматривается в работе [Garcia-Gallego, Georgantzis, Kujal, 2006]. Авторы проводят серию экспериментов, в рамках которых исследуют выбор цены ресурса, объемов поставки различным потребителям и качества поставляемого ресурса для случаев частной монополии, государственной монополии и дуополии. Полученные результаты свидетельствуют о том, что государственная монополия характеризуется самым высоким отношением уровня качества к цене ресурса, но при этом рыночные механизмы порождают более высокий (даже превышающий эффективный уровень) запас ресурса.

1.1.6. Экономия на масштабе и инвестиции в проекты. Вода, с одной стороны, является примером хранимого ресурса, что позволяет нивелировать изменчивость водного стока. Однако, с другой стороны, хранение воды требует создания специальных резервуаров (искусственных водохранилищ), что сопряжено с большими инвестиционными расходами. При этом выгоду от использования этих водохранилищ получают все водопользователи региона, т. е. подобные проекты являются локальным общественным благом.

Кроме того, неравномерное распределение водных ресурсов по регионам требует больших инвестиционных вложений в транспортировку путем строительства отводных каналов и прокладки протяженных водопроводных сетей. Следует отметить, что выгода от построенных каналов будет существенно варьироваться для водопользователей в зависимости от их месторасположения. В силу потерь воды при прохождении по отводному каналу агенты, находящиеся у начала отводного канала, оказываются в преимущественном положении по сравнению с другими водопользователями. При этом инвестиции в поддержание водораспределительной системы, осуществляемые в начале отводного канала, приносят выгоду и всем водопользователям, находящимся вниз по течению. В результате, если решения об инвестициях агенты принимают индивидуально, то игнорирование подобных положительных внешних эффектов влечет слишком низкий уровень текущих инвестиционных расходов [Chakravorty, Hochman, Umetsu, Zilberman, 2009].

При отсутствии централизованного подхода к созданию и поддержанию водораспределительной системы, которая является примером общественного блага, инвестиции в создание этой системы могут оказаться ниже оптимальной величины и в результате эта система будет охватывать слишком малое количество пользователей по сравнению с оптимальным [Chakravorty, Hochman, Zilberman, 1995].

Помимо инвестиций в водоснабжении, не менее актуальными являются проекты в области водоотведения. Так, к примеру, накопление сточных вод может приводить к неблагоприятным экологическим последствиям. Проблема может быть решена за счет инвестиций в создание дренажных систем и перехода к водосберегающим технологиям [Dinar, Campbell, Zilberman, 1992; Shah, Zilberman, Lichtenberg, 1995]. Последнее особенно актуально при использовании воды для орошения.

Наличие высоких фиксированных издержек, связанных с реализацией инвестиционных проектов, создает предпосылки для экономии на масштабе. В силу невыпуклости функции издержек децентрализация эффективных решений в отсутствие государственного вмешательства, как правило, оказывается невозможной из-за проблем с существованием равновесия [Eswaran, Lewis, Heaps, 1983; Hartwick, Kemp, Long, 1986; Fisher, Karp, 1993; Fischer, 1998]. Эту проблему можно решить путем субсидирования или при наличии (введении) эффективного ограничения на мощность инвестиционного проекта [Holland, 2003b]. Однако в последнем случае равновесная траектория может отличаться от эффективной при наличии положительных внешних эффектов, связанных с возвратными потоками воды. Игнорирование этих эффектов частными инвесторами влечет отсрочку реализации инвестиционного проекта по сравнению с оптимальным моментом [Holland, 2006].

Наличие возрастающей отдачи от масштаба создает стимулы для монополизации отрасли. Рыночная власть может приводить к занижению мощности по сравнению с оптимальной, поскольку это позволяет поддерживать невысокий объем предложения, что повышает ценность ресурса. Кроме того, при наличии рыночной власти выгодно отсрочить реализацию проекта, тем самым, увеличивая дефицит воды в регионе [Ibid.].

Помимо инвестиций в создание новых мощностей в условиях нарастающей редкости чистой пресной воды весьма актуальными являются инвестиции в создание новых ресурсосберегающих технологий. Это могут быть технологии, связанные с созданием ресурса-заменителя, например, опреснение морской воды [Tsur, Zemel, 2000] или ресурсосберегающие технологии [Фридман, 2011]. В обоих случаях возникает проблема оптимальности размера инвестиционных вложений и времени осуществления этих вложений [Heal, 1976; Hanson, 1977; Hung, Quyen, 1993]. Кроме того, внедрение этих технологий сопряжено с внешними эффектами, поскольку изменяются возвратные потоки, а вместе с ними и ущерб, наносимый окружающей среде. Игнорирование этих внешних воздействий при децентрализованном принятии решений может приводить к неэффективности размера и/или временной структуры инвестиционных вложений в эти технологии [Hoel, 1978; Holland, Moore, 2003; Nakao, Wichelns, 2003].

1.2. Проблема редкости водных ресурсов

1.2.1. 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 готовы 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, т.е. 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 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.

Экономисты пришли к согласию в отношении способов оценки дефицита ресурсов (см. [Kognai, 1979; Weitzman, 1991; Polterovich, 1993]), но при этом до сих пор не сложилось единого подхода к оценке редкости. Следует отметить, что оценка редкости вызывает сложности применительно к любым природным ресурсам. К примеру, существует множество различных индикаторов, используемых для оценки редкости истощаемых ресурсов, причем в зависимости от используемого индикатора мы можем порой получать абсолютно противоположные выводы относительно того, становится ли ресурс со временем более редким [Chermak, Patrick, 2002]. Заметим, что проблема становится еще более сложной, если мы ведем речь о водных ресурсах, поскольку различные источники воды относятся к разным категориям ресурсов. Например, подземные воды могут выступать в качестве пополняемого, но истощаемого ресурса, в то время как поверхностные воды представляют практически неисчерпаемый источник, но с ограничением на мощности. Помимо этого, существует воспроизводимый ресурс-замениватель в виде технологии опреснения морской воды.

Итак, различие между концепциями дефицита и редкости очевидно. Если дефицит относится к статической характеристике дисбаланса спроса и предложения, то редкость характеризует несоответствие потребностей и возможностей в динамическом контексте. На первый взгляд кажется, что различие между концепциями касается и экономической составляющей этих понятий: если концепция дефицита напрямую связана с механизмом распределения ресурсов, то редкость отражает в первую очередь физический дисбаланс между потребностями и возможностями. Однако этот подход излишне поверхностен и при детальном рассмотрении не соответствует действительности.

Как возможности, так и потребности в экономике меняются со временем, причем не только в силу роста населения или исчерпания ресурсов, но и в силу развития технологий. Соответственно, инвестиции в мощности соответствующих технологий напрямую зависят от используемых экономических механизмов распределения ресурсов.

1.2.2. Индикаторы редкости водных ресурсов. Одним из наиболее известных подходов к построению индикатора редкости водных ресурсов является индекс водного стресса Фалкенмарка [Falkenmark, Lundqvist, Widstrand, 1989]. Идея этого индекса состоит в том, что в мире объем доступной для потребления пресной воды со временем не увеличивается, а население растет, что при прочих равных условиях влечет сокращение водопотребления в расчете на душу населения. Таким образом, для каждого региона мы можем определить доступный объем водопотребления, приходящийся на душу населения, и соотнести полученные величины с некими критическими значениями.

Принято выделять два пороговых значения, которые являются индикаторами водного стресса. Если объем пополняемых водных ресурсов в расчете на человека оказывается меньше $1700 \text{ м}^3/\text{год}$, то говорят о наличии водного стресса. Если этот показатель оказывается ниже 1000 м^3 на душу населения в годовом исчислении, то говорят о наличии дефицита водных ресурсов. Наконец в случае, когда данный показатель падает ниже уровня в 500 м^3 , то такую ситуацию называют абсолютным дефицитом. При подсчете необходимого уровня водопотребления учитывались как личные потребности индивидов, которые составляют около $35 \text{ м}^3/\text{год}$, так и потребности сельского хозяйства и промышленности, которые и являются основными водопотребителями.

В табл. 1.3 приведены данные по изменению индекса Фалкенмарка для ряда стран мира в период с 1992–2007 гг. В соответствии с этим индексом абсолютный дефицит воды наблюдается в ОАЭ, Израиле и Республике Молдова, дефицит воды имеет место также в Венгрии, Узбекистане, Нидерландах и Азербайджане.

Однако индекс водообеспеченности отражает лишь запасы воды, но не принимает во внимание потребности в водных ресурсах, неявно предполагая, что спрос однозначно определяется численностью населения страны. Несколько иной подход использован при расчете так называемого индекса устойчивости [Raskin et al., 1997], который равен отношению объема воды, забираемой из природных источников, к совокупному пополняемому объему воды. При этом в качестве последнего может использоваться как внутренний пополняемый сток, так и совокупный сток с учетом поступления воды из внешних (по отношению к рассматриваемому региону) источников. В первом случае индекс может превышать 100% в случае, если существенная часть стока формируется за пределами рассматриваемого региона.

На рис. 1.4 представлены индексы устойчивости ресурсов пресной воды в расчете для внутреннего совокупного стока для ряда как развитых, так и развивающихся стран. При использовании индекса устойчивости говорят о существовании проблемы редкости воды, если водопотребление превышает 20% от возобновляемого стока и об острой редкости, если этот показатель превышает 40%.

Заметим, что индекс устойчивости и индекс Фалкенмарка далеко не всегда приводят к одинаковым качественным характеристикам редкости водных ресурсов. Так, эти показатели одинаково отражают критические ситуации с дефицитом воды, наблюдаемые, к примеру, в Израиле и Молдове. Однако, если рассмотреть страны, где в соответствии с индексом Фалкенмарка нет дефицита воды, то ситуация не выглядит столь однозначной. К примеру, в Чешской Республике индекс устойчивости водопользования не превышает критический 20%-й уровень, в то время как индекс Фалкенмарка существенно ниже уровня в $1700 \text{ м}^3/\text{год}$ на человека, что свидетельствует о наличии водного стресса. С другой стороны, такие страны, как Болгария и Казахстан

Таблица 1.3. Динамика водобеспеченности для ряда стран мира (1992–2007 гг.)

Страна	Внутренние возобновляемые водные ресурсы, м ³ на человека в год					Страна	Внутренние возобновляемые водные ресурсы, м ³ на человека в год				
	1992	1997	2002	2007	2007		1992	1997	2002	2007	
ОАЭ	72,4	54,9	41,8	34,4		Турция	3 908	3 584	3 319	3 109	
Израиль	155,3	132	118,4	108,2		Мексика	4 719	4 307	4 008	3 805	
Республика Молдова	228,4	234,4	252,5	272,7		Белоруссия	3 613	3 647	3 736	3 826	
Венгрия	580,2	582,8	590,7	598,1		Литва	4 213	4 350	4 488	4 636	
Узбекистан	759,9	688,7	642,9	607,4		Казахстан	4 590	4 872	5 053	4 895	
Нидерланды	726	703,3	683,9	668,3		Греция	5 602	5 364	5 273	5 220	
Азербайджан	1 089	1 022	984,6	940,1		Швейцария	5 898	5 686	5 549	5 377	
Индия	1 425	1 294	1 187	1 099		Австрия	7 071	6 900	6 804	6 621	
Дания	1 161	1 138	1 117	1 102		Латвия	6 406	6 875	7 163	7 378	
Украина	1 030	1 056	1 106	1 147		США	10 797	10 153	9 585	9 129	
Германия	1 331	1 306	1 301	1 299		Киргизия	10 931	10 355	9 659	9 156	
Польша	1 397	1 389	1 398	1 406		Эстония	8 324	9 066	9 366	9 464	
Армения	1 988	2 188	2 241	2 233		Грузия	10 874	11 805	12 558	13 339	
Великобритания	2 510	2 475	2 432	2 372		Швеция	19 703	19 322	19 162	18 670	
Испания	2 848	2 808	2 695	2 524		Финляндия	21 251	20 821	20 581	20 254	
Болгария	2 427	2 562	2 661	2 748		Австралия	28 073	26 563	25 034	23 593	
Франция	3 113	3 056	2 983	2 892		Бразилия	35 071	32 511	30 247	28 498	
Италия	3 196	3 196	3 169	3 077		Российская Федерация	29 006	29 141	29 675	30 386	

Источник: База данных ООН по водным ресурсам AQuASTAT

<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>.

согласно индексу устойчивости характеризуются высокой степенью истощения водных ресурсов, но при этом индекс Фалкенмарка для обеих экономик существенно превышает критический уровень.

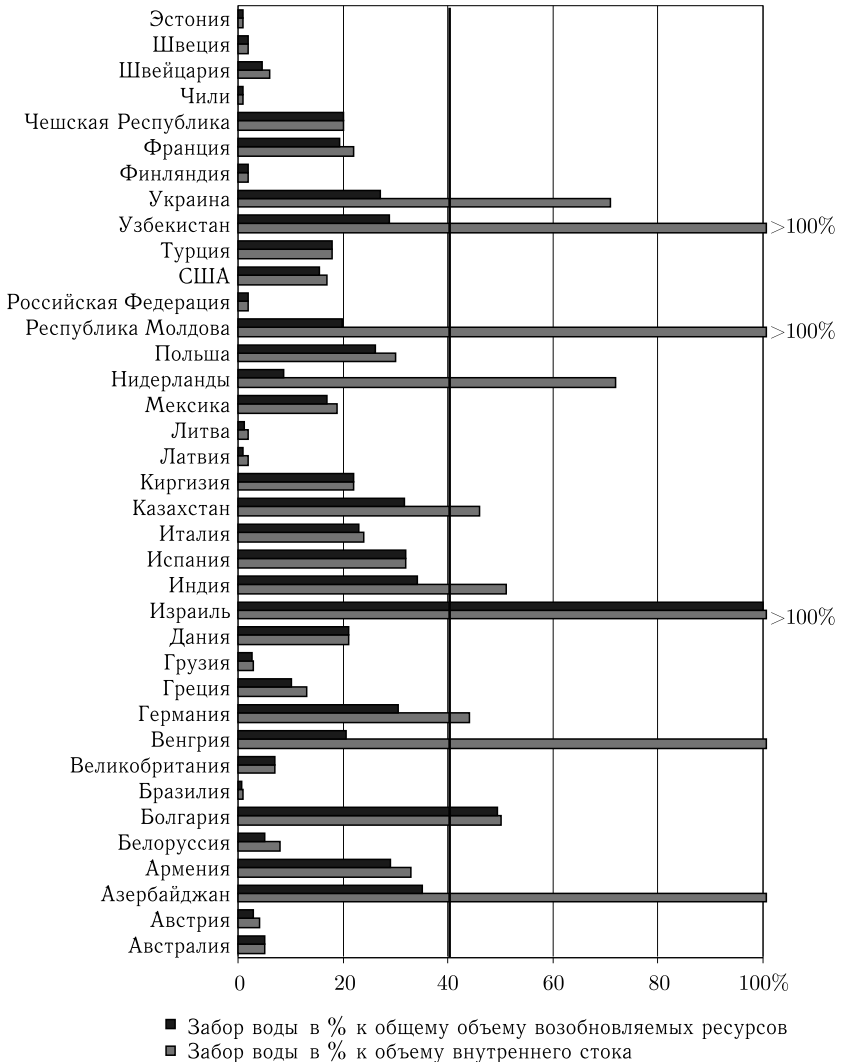


Рис. 1.4. Индексы устойчивости водопользования в 2007 г.

Источник: Расчеты автора на основе базы данных по водным ресурсам ООН.
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>.

В действительности оба рассмотренных показателя являются скорее физическим нежели экономическим индикатором редкости. В идеале индекс редкости должен расти при увеличении фактического или ожидаемого спроса на ресурс относительно фактического или ожидаемого предложения ресурса.

Индекс Фалкенмарка, к примеру, не учитывает развитие технологий, которые меняют наши представления о водоемкости производства при внедрении водосберегающих технологий. Кроме того, при возрастающем дефиците воды возможно изменение самой структуры производства: в вододефицитных регионах возможен переход к менее водоемким видам производственной деятельности, сопровождаемый импортом водоемких товаров.

Индекс уязвимости в некоторой степени отражает изменение в спросе на воду, но при этом происходит подмена концепции спроса уровнем водозабора. В результате мы не учитываем фактический объем водопотребления, так как, с одной стороны, существенная часть забранной из природных источников воды теряется при транспортировке, а, с другой стороны, современные технологии оборотного водоснабжения позволяют многократно использовать забранную воду.

Попытка перейти от физических к экономическим индикаторам редкости была предпринята исследователями из института международного управления водными ресурсами [Seckler et al., 1998], которые построили свой индикатор редкости (известный как модель IWMI), учитывающий возможности повторного использования воды, а также различные сценарии инвестиций в инфраструктуру. В результате были получены оценки редкости воды на перспективу до 2025 г., на основе которых предложена группировка стран по степени редкости водных ресурсов. Авторы классификации под физической редкостью воды предлагают понимать ситуацию, при которой страны не смогут к 2025 г. удовлетворить спрос на воду с учетом прогнозных инвестиций в развитие инфраструктуры. Если же ресурсов страны в принципе достаточно, но полное удовлетворение спроса в будущем потребует существенных инвестиционных расходов, то в этом случае авторы предлагают характеризовать ситуацию как экономическую редкость водных ресурсов.

Однако построенная модель не получила широкого практического использования в силу ее высокой агрегированности (речь идет о классификации на уровне стран) и сложности воспроизведения методологии на disaggregated уровне, поскольку многие расчеты в модели базируются на экспертных оценках.

Необходимость проведения сравнительного межстранового анализа обеспеченности водой с учетом экономических и экологических характеристик привела к построению специфического индекса бедности

(water poverty index)⁵. Этот индекс призван отражать пять аспектов водообеспечения региона: запас ресурсов, доступ к водным ресурсам, социально-экономическое положение региона, водопотребление по секторам экономики, экологические характеристики водопользования. Этот индекс помогает в принятии решений о предоставлении нуждающимся странам помощи, направленной на улучшение предоставления услуг водоснабжения и водоотведения, но не решает проблему оценки редкости водных ресурсов.

Заметим, что агрегированная информация не всегда позволяет адекватно оценить степень редкости водных ресурсов, поскольку не учитывает неравномерность как в распределении самих ресурсов, так и в распределении потребителей этих ресурсов в регионе. К примеру, согласно приведенным в табл. 1.4 и на рис. 1.4 данным Российская Федерация обладает огромными запасами водных ресурсов в расчете на душу населения и имеет очень высокий показатель устойчивости водопотребления. Однако, рассмотрев ситуацию в разрезе субъектов федерации можно увидеть, что на фоне изобилия водных ресурсов в целом по стране в ряде регионов имеет место острый дефицит воды.

Как следует из табл. 1.4, во всех федеральных округах индекс Фалкенмарка превосходит пороговый уровень в 1700 м^3 на человека в год. Рассчитывая индекс водообеспеченности на основе совокупного стока, мы наблюдаем отсутствие водного стресса практически во всех регионах. Однако водообеспеченность местными ресурсами в ряде субъектов федерации оказывается на чрезвычайно низком уровне. В частности, для Воронежской и Ростовской областей этот показатель составляет менее 500 м^3 на человека в год, что соответствует абсолютному дефициту водных ресурсов.

Согласно индексу устойчивости водопользования дефицит водных ресурсов местного стока наблюдается лишь в Южном федеральном округе, где значение индекса приближается к 50%. Однако и в ряде регионов других федеральных округов имеет место превышение 20%-ного уровня, что свидетельствует о наличии проблемы редкости, причем в некоторых случаях (например, в Воронежской области) оказывается превышен и 40%-й пороговый уровень.

1.2.3. Регулирование дефицита водных ресурсов. Как следует из анализа, проведенного в предыдущем параграфе, термины «дефицит» и «редкость» в экономике водных ресурсов зачастую используют как синонимы. Однако, с точки зрения экономической теории дефицит и редкость представляют разные проблемы. Понятие редкости отражает эффект истощения физического запаса ресурса относительно спроса на этот ресурс по мере его использования, а потому анализ этого феномена возможен лишь в рамках динамических моделей. Этот вопрос подробнее анализируется в последующих разделах. В частности,

⁵ Индекс впервые представлен в работе [Lawrence, Meigh, Sullivan, 2003].

Таблица 1.4. Водообеспеченность по федеральным округам и регионам РФ в 2008 г.

Регион	Водозабор, % от сово- купного стока	Водозабор, % от мест- ного стока	Местный сток, м ³ /год на человека	Совокупный сток, м ³ /год на человека
Российская Федерация	1,7	1,8	31997	33158
Центральный федераль- ный округ	10,0	12,3	2838	3487
Белгородская область	14,1	15,4	1380	1511
Воронежская область	4,0	73,5	308	5714
Московская область	16,2	31,6	1644	3198
Ярославская область	1,0	29,6	838	24757
Северо-Западный федеральный округ	1,8	1,9	49660	54860
Ленинградская область	7,0	33,3	12740	60271
Южный федеральный округ	8,0	49,6	2217	13814
Краснодарский край	34,4	48,7	2767	3917
Волгоградская область	0,5	31,1	1690	99967
Ростовская область	21,1	204,6	447	4331
Республика Дагестан	14,7	45,1	3297	10112
Республика Ингушетия	10,0	36,1	992	3573
Кабардино-Балкарская Республика	13,4	34,1	3700	9418
Карачаево-Черкесская Республика	49,7	49,7	13807	13807
Республика Северная Осетия — Алания	13,0	27,9	5982	12818
Ставропольский край	37,5			1811
Приволжский федераль- ный округ	3,8	6,4	5917	9838
Оренбургская область	17,3	28,6	3026	5011
Самарская область	0,5	29,1	1229	77961
Саратовская область	0,5	32,2	1629	97543
Уральский федеральный округ	0,8	1,2	35607	50377
Челябинская область	16,9	18,7	1567	1738
Сибирский федеральный округ	0,7	0,7	77711	80002
Дальневосточный федеральный округ	0,1	0,1	244483	294628

Источник: Расчеты автора на основе данных Росводресурсов (см. Приложение 2.1 к госдокладу «О состоянии и использовании водных ресурсов РФ в 2008 г.»).

в главах 3–6 рассматривается оптимальная тарифная политика и способы перехода к эффективным тарифам. Эффект истощения может быть частично нейтрализован за счет технологических инноваций, связанных с оборотным водоснабжением и другими водосберегающими технологиями. Эти вопросы обсуждаются в главах 8–9. Наконец, вопросы истощения тесно связаны с качеством водных ресурсов. Этот аспект в контексте эффективного распределения природоохранного бюджета подробно рассмотрен в главе 10.

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.

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 проблема 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, Бичер и др. [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 гг. Далхусен и др. [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 странам⁶) 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 рационирования. В экономической теории различают количественное рационирование, при котором каждый потребитель сталкивается с определенным ограничением на получение ресурса, и рационирование посредством очередей, которое возникает как децентрализованная реакция на редкость ресурса. В последнем случае время, проведенное в очередях, служит регулирующих 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 Полтеровича [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 источникам⁷. В большинстве стран вода подается непосредственно потребителю, а потому система очередей в ее классическом варианте здесь фактически не работает. Обратимся к регулированию, основанному на рационировании водопотребления.

1.2.4. Варианты рационирования водных ресурсов. Итак, при наличии временного дисбаланса между спросом и предложением воды, власти могут прибегнуть к временному повышению тарифов или использовать рационирование в виде ограничения на объемы водопотребления.

⁶ 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, 2006, p. 30].

⁷ Исследование выбора жителей одной из деревень Кении между покупкой воды в местном киоске и бесплатным водозабором из скважины, сопряженным с затратами времени, дало довольно высокую оценку времени в очередях, сопоставимую с заработной платой низкоквалифицированного труда, что свидетельствует о неэффективности данного способа распределения ресурса [Whittington, Mu, Roche, 1990].

Обратимся к анализу различных способов рациионирования водопотребления. Весьма распространенным вариантом регулирования (особенно в развивающихся странах) являются временные ограничение подачи воды, т. е. 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 инвестиции в водонакопительное оборудование, позволяющее сгладить перебои в водоснабжении.

Другой формой рациионирования является введение универсального, т. е. 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 весьма эффективен 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 рacionamento 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 рacionamento 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 купить кредиты у водопользователей, для которых эти издержки ниже.

В табл. 1.5 отражены примеры использования рассмотренных выше вариантов регулирования.

Заметим, что использование количественных ограничений при рационировании 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 рационирования 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].

1.2.5. Оценка потерь при различных способах регулирования дефицита. Рассмотренные выше варианты регулирования можно разделить на две группы: ценовое регулирование и рacionamento. Сравнительный анализ этих вариантов в терминах влияния на благосостояние проведен в нескольких работах. В статье Ву [Woo, 1994] рассматривается политика перерывов в водоснабжении, которая сопоставляется с тарифным регулированием, а затем проводится сравнительный анализ потерь на основе данных за 1973–1990 гг. для Гонконга. Оценка потерь водопотребителей строится на основе концепции 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

Таблица 1.5. 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-х 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 рacionamento	Неэффективное распределение потерь между водопользователями	1991 г., Калифорния [Lund, Reed, 1995]
Пропорциональное рacionamento	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]
Рационализация с накоплением кредитов	Необходимость сбережения неиспользованной воды Проблема неиспользованных кредитов	1991 г. Округ Марин (Калифорния) [Lund, Reed, 1995]
Рационализация 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 Водный банк [Moris, Lund, 1995]

среднемесячные потери при перерывах в водоснабжении в несколько сот раз превышают потери от повышения тарифов.

В статье Ройбаса и др. [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 рacionamento, основанных на ограничении времени подачи воды, потребители приспосабливаются к этим ограни-

чениям посредством приобретения водонакопительного оборудования, спрос на которое, в свою очередь, зависит от доходов потребителей. Однако в данной работе рационализация рассматривается как сокращение водопотребления пропорциональное планируемому объему, т. е., по сути, мы имеем дело с хорошо известным в экономической теории вариантом пропорционального рационалирования. 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 рационализации водоснабжения всегда выше, чем при повышении тарифов. Данный результат объясняется введением пропорциональной схемы рационалирования вместо эффективной. Заметим, что в случае эффективной схемы рационалирования, 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 в 1992–1996 гг., 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 Ву [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 Ву выигрыш оказывается в сотни раз выше. Как отмечают авторы, оценки, полученные в соответствии с методологией Ву, явно завышены, поскольку потери от перерыва в водоснабжении оказываются равными 60% дохода потребителей.

В работе Бреннана и др. [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. во время 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, столицы 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.

Графтон и Вард [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 — производи-

телям, которые используют воду как один из факторов производства. В совместной работе Ву и Ло [Woo, Lo, 1993] оценили 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 перерывы в водоснабжении 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 рационарирования, полученные для одной ситуации, не могут быть автоматически распространены на другие. В частности, как показывают исследования [Dixon, Moore, Pint, 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 (Ibid., p. 41).

Близкий результат получен в работе Бреннана и др. [Brennan, Tapswan, Gordon, 2007], где показано, что богатые домохозяйства оказываются в выигрыше от замены рационарирования 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.

1.2.6. 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^t , максимизируя свой излишек при заданном линейном тарифе на воду со ставкой p :

$$\max_{x_k(t) \geq 0} \int_0^T (v_k(x_k(t)) - px_k(t)) dt, \quad (1.1)$$

где T — период (например, месяц), а мгновенная полезность от водопотребления $v_k(\cdot)$ предполагается возрастающей и строго вогнутой функцией. Для удобства будем считать, что все агенты проранжированы в соответствии с их оценками водопотребления в порядке возрастания, т. е. $v'_1 < v'_2 < \dots < v'_M$. 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

$$v'_k(x_k) = p. \quad (1.2)$$

Подставляя найденные значения водопотребления в целевую функцию задачи (1.1) 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 β ($0 < \beta < 1$) от величины X . Для устранения дефицита посредством повышения цен необходимо найти тариф p_β , при котором совокупный

спрос был бы равен βX , т. е. p_β является решением уравнения

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

Затем, подставляя найденный тариф p_β и величину спроса $x_k(p_\beta)$, найденную из уравнения (1.2), 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

$$CS^{\text{comp}}(\beta) = \sum_k CS_k(p_\beta) + (p_\beta - p)\beta X. \quad (1.3)$$

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 β мы найдем квоту \bar{x}_β и число потребителей n_β , 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 первых n_β потребителей не изменится, а остальных — сократится в силу снижения объема водопотребления. В результате совокупный потребительский излишек при универсальном рационировании будет равен

$$CS^{\text{univ}}(\beta) = \sum_{k=1}^{n_\beta} CS_k(p) + \sum_{k=n_\beta}^M CS_k(\bar{x}_\beta), \quad (1.4)$$

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 рacionamento. В этом случае квота каждого агента составит фиксированную долю от его прежнего уровня водопотребления $x_k^{\text{PROP}} = \beta x_k$. В этом случае квоты будут эффективны для всех индивидов, и излишек потребителей составит

$$CS^{\text{PROP}}(\beta) = \sum_{k=1}^M (v_k(\beta x_k) - p\beta x_k). \quad (1.5)$$

Наконец еще один способ распределения ресурса в условиях дефицита связан с ограничением времени его использования, т. е. 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 τ 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 βX получаем следующее соотношение для определения периода подачи воды: $(1 - \tau) \cdot 0 + \tau X = \beta X$, откуда $\tau = \beta$. Результирующая величина излишка потребителей составит

$$CS^{\text{interrupt}}(\beta) = \beta \sum_{k=1}^M (v_k(x_k) - px_k) + (1 - \beta) \sum_{k=1}^M v_k(0). \quad (1.6)$$

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 δ от усредненного объема водопотребления при отсутствии дефицита. В результате, если водоснабжение осуществляется лишь в течение доли времени τ , 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 совокупному водопотреблению, равному запасу воды βX , 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

$$CS^{\text{inter_inv}}(\beta, \delta) = \frac{\beta}{1 + \delta} \sum_{k=1}^M (v_k(x_k) - px_k) +$$

$$+ \left(1 - \frac{\beta}{1 + \delta}\right) \sum_{k=1}^M (v_k(x(\delta)) - px(\delta)) - I. \quad (1.7)$$

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 τ при этом не изменится, а в выражении (1.2.6) 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, различающиеся спецификацией функций спроса (1.2). 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 эластичностью. 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, Florax, 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. 1.6.

Таблица 1.6. Параметры моделей и начальное равновесие

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

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 та-

рифах, т. е. эта величина равна $(1 - \beta) \cdot 100\%$. 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 (1.3). Далее вычислим потери в излишке потребителей (с учетом компенсаций) в процентах от первоначальной величины. Полученные результаты представлены в табл. 1.7. 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 1.7. Потери в излишке потребителей (в процентах от первоначальной величины) при различных способах регулирования дефицита

Дефицит воды, %	Тариф, устранивающий дефицит, руб./м ³	Потери при повышении тарифа, %	Потери при универсальных квотах, %	Потери при пропорциональных квотах, %	Потери при перерывах в водоснабжении, %		
					вариант (а)	вариант (б)	вариант (в)
Случай спроса с одинаковой ценовой эластичностью (пример 1)							
5	33,8	0,3	0,4	0,3	5,0	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
Случай спроса с различной эластичностью (пример 2)							
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 водо-

сберегающего 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 (1.4)–(1.2.6). В табл. 1.7. 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 β находим соответствующий тариф p_β 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 искомый 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. 1.8), однако в расчетах не учтены издержки, связанные с приобретением, установкой и эксплуатацией этого оборудования, а потому фактические потери будут несколько выше.

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 рациионирования широко используется в развивающихся странах. По-видимому, причина состоит в том, что другие схемы рациионирования 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.

Научное издание

Фридман Алла Александровна

**Модели экономического управления
водными ресурсами**

Зав. редакцией *Е.А. Бережнова*

Редактор *Е.С. Артоболевская*

Художественный редактор *А.М. Павлов*

Компьютерная верстка и графика: *И.Г. Андреева*

Корректор *Е.С. Артоболевская*

Подписано в печать 06.12.2011. Формат 60×90 1/16
Гарнитура NewtonС. Усл. печ. л. 18,0. Уч.-изд. л. 17,0
Тираж 600 экз. Изд. № 1446

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20
Тел./факс: (499) 611-15-52

ISBN 978-5-7598-0903-6



9 785759 809036