

ISSN 0424-7388

Том 45, Номер 4

Октябрь - Ноябрь - Декабрь
2009



ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ



<http://www.naukaran.ru>
<http://www.maik.ru>



“НАУКА”

Российская академия наук

ЭКОНОМИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Том 45 № 4 2009

Журнал основан в 1964 г.
Выходит 4 раза в год
ISSN: 0424-7388

*Журнал издается под руководством
Отделения общественных наук РАН*

**Главный редактор
В.Л. Макаров**

Редакционная коллегия:

**С.А. Айвазян (зам. главн. ред.), А.С. Астахов,
А.А. Афанасьев, В.А. Волконский, Ю.Н. Гаврилец,
Е.Г. Гольштейн (зам. главн. ред.), А.Г. Гранберг, В.Г. Гребенников, А.А. Гусев,
В.И. Данилов-Данильян, М.Г. Завельский, В.Л. Квинт, Г.Б. Клейнер,
М. Кубонива, М.И. Левин, В.Н. Лившиц, Ю.В. Овсиенко (зам. главн. ред.),
Н.Я. Петраков, В.М. Полтерович, А.Б. Поманский, Н.М. Римашевская,
И.С. Шитова (зам. главн. ред.), Р.М. Энтов**

Зав. редакцией Н.С. Виноградова

Адрес редакции:

**117418 Москва, Нахимовский просп., 47
Тел.: (499) 129-39-33**

**Москва
Издательство “Наука”**

© Российская академия наук, 2009 г.
© Редакция журнала
“Экономика и математические методы”
(составитель), 2009 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Том 45, номер 4, 2009

Народнохозяйственные проблемы

Фридман А.А. Эффективное ценообразование на водные ресурсы при неоднородности потребителей 3

Из истории экономической мысли

Лившиц В.Н. О двух юбилеях одной классической работы Л.В. Канторовича (из истории эконом. направления) 16

Региональные проблемы

Дриго М.Ф. Оценка инвестиционного потенциала региона на основе ресурсно-результативного подхода 29

Математический анализ экономических моделей

Смоляк С.А. Эргодические модели износа машин и оборудования 42

Грачев И.Д. Вероятностная модель функционирования смешанных экономических систем 61

Цымбал В.И. Методология анализа неявной оптимизации управления социально-экономическими системами 74

Хачатрян А.Х., Хачатрян Х.А. Об одном интегро-дифференциальном уравнении в задаче распределения дохода 84

Методы оптимизации

Гольштейн Е.Г. Об одной задаче равновесия, связанной с бескоалиционными играми 97

Крутиков В.Н., Горская Т.А. Семейство релаксационных субградиентных методов с двухгранговой коррекцией матриц метрики 105

Критика и библиография

Шананин А.А. В.З. Беленький. Оптимизационные модели экономической динамики 121

* * *

Содержание за 2009 год 123

Авторы статей 126

Правила для авторов 127

CONTENT

Vol 45, No 4, 2009

Problems of national economy

Freedman A.A. Efficient water pricing under heterogeneous demands 3

History of economic ideas

Livshits V.N. About the two anniversaries of one classic research by L.V. Kantorovich 16

Regional problems

Drigo M.F. Estimation of investment potential of the region on the basis of the resource-productive approach 29

Mathematical analysis of economic models

Smoliak S.A. Ergo-dynamic models of depreciation of machinery and equipment 42

Grachev I.D. Stochastic model of functioning of the mixed economic systems 61

Tsybal V.I. Methodology of analysis of non obvious optimization of socio-economic systems management 74

Khachatryan A.Kh., Khachatryan Kh.A. On an integro-differential equation in the problem of wealth distribution 84

Methods of optimization

Golshtein Ye.G. On an equilibrium problem related to non-cooperative games 97

Kroutikov V.N., Gorskaya T.A. The family of relaxation sub-gradient methods with double-rank correction of atrixes of the metrics 105

Critics and bibliography

Shananin A.A. B.Z. Belenky. The optimization models of economic dynamics 121

* * *

Contents 2009 123

Authors of the Issue 126

Rules for the Authors 127

**НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ**

**ЭФФЕКТИВНОЕ ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
ПРИ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ***

©2009 г. А. А. Фридман

(Москва)

Анализируется эффективность ценообразования на водные ресурсы с учетом множества источников водоснабжения (подземные воды, поверхностные воды и альтернативный источник) и потребителей, различающихся коэффициентами безвозвратного водопользования. Исследована зависимость эффективных цен и распределения ресурсов от ограничения по стоку поверхностных вод. Проанализировано влияние запаса ресурса, предельных издержек водоснабжения для разных источников и эффективности водопотребления на эффективные траектории цен.

1. ВВЕДЕНИЕ

Долгое время в экономической литературе вопросу ценообразования на водные ресурсы не придавалось должного значения. Однако с увеличением водопотребления и загрязнения пресных вод вопрос эффективного ценообразования стал актуален как никогда. Россия располагает значительными водными ресурсами и использует лишь около 3% речного стока ежегодно. Однако неравномерное распределение ресурсов по территории страны приводит к острому дефициту воды в ряде регионов. Основным источником водоснабжения выступают поверхностные воды (около 80% совокупного водозабора)¹. Однако немалую роль играют подземные воды (около 14% совокупного водопотребления) и морская вода. Заметим, что в силу совершенствования технологий издержки опреснения морской воды сократились в 10 раз: с 9 долл. за 1 м³ в 1960 г. до 0.9 долл. в 2000 г. (Zhou, Tol, 2004, p. 228). Дальнейшее снижение издержек опреснения будет способствовать более широкому применению морской воды в экономике. Большая часть водных ресурсов (около 65%) нужна для производственных нужд, оставшиеся ресурсы распределяются между хозяйственно-питьевыми нуждами, орошением и сельскохозяйственным водоснабжением.

Особенность воды как экономического ресурса состоит в высоких издержках транспортировки, а потому потребности в воде должны обеспечиваться за счет рационального использования тех ресурсов, которые имеются в данном регионе. Другая особенность заключается в том, что использованная вода в результате кругооборота возвращается обратно в природные источники. Однако некоторые источники (главным образом подземные) при интенсивном водопотреблении постепенно истощаются. Также отмечено, что различные отрасли экономики характеризуются разной степенью безвозвратных потерь воды в результате потребления. Согласно данным, приведенным в (Shiklomanov, 2003), безвозвратный расход воды оказывается наибольшим в сельском и коммунальном хозяйствах, а также в промышленности.

Многочисленные исследования, посвященные оптимальному использованию истощаемого ресурса (в качестве которого в данной работе выступают подземные воды) при наличии альтернативного неисчерпаемого ресурса заменителя, показывают, что в первую очередь должен употребляться наиболее дешевый ресурс. Этот принцип первостепенного использования более дешевого ресурса в экономической литературе называют принципом Герфиндаля (Herfindahl, 1967). В (Holland, 2003) было доказано, что принцип может нарушаться при наличии ограниче-

* Работа выполнена при финансовой поддержке ГУ ВШЭ (проект 07-01-131).

¹ Согласно данным Госкомстата России по забору воды из природных источников (<http://www.gks.ru>).

ния на мощности. В данной работе будет показано, что даже при неэффективном ограничении на мощности нарушение данного принципа может иметь место при наличии специфического внешнего эффекта, связанного с различиями в коэффициентах безвозвратного водопотребления.

2. МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ

Рассмотрим экономику с тремя секторами (промышленным, сельскохозяйственным и жилищно-коммунальным), которые используют водные ресурсы для производства товаров и услуг. Будем считать, что в качестве источника пригодной для потребления воды могут выступать поверхностные воды, подземные воды и также имеется доступ к альтернативному источнику водоснабжения, в качестве которого могут выступать импорт воды из другого региона или опреснение морской воды.

Предполагается, что предложение поверхностных вод детерминировано и ограничено в каждый момент времени определенным объемом (например, речным стоком за период или неким ограничением на водозабор). Пусть максимальный объем поверхностных вод, доступный для потребления, одинаков в каждый момент времени и равен \bar{L} ². Тогда, обозначив объем водозабора из поверхностных вод отраслью i через l_i , имеем $\sum_{i=1}^3 l_{it} \leq \bar{L}$ для любого момента времени t . Будем считать, что первая отрасль соответствует сельскому хозяйству, вторая – коммунальному хозяйству и третья – промышленности.

Пусть запас подземных вод ограничен и равен S_0 ³. Объем потребления подземных вод определяется не только водозабором, но и способом использования воды: забранная вода частично возвращается обратно и коэффициенты безвозвратного потребления этих вод различаются по секторам экономики. Если забор воды сектором i из подземного источника в момент t обозначить через g_i , то безвозвратное водопотребление можно представить как $\delta_i g_i$, где $0 < \delta_i < 1$, причем $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3$ ⁴.

Объем использования альтернативного источника водоснабжения в секторе i в момент t обозначим через y_{it} . Будем предполагать, что предельные издержки водоснабжения для каждого источника постоянны и $c_g < c_l < c_y$, где индекс g соответствует подземным водам, l – поверхностным, y – альтернативному источнику. Предполагается, что издержки водоснабжения оказываются наименьшими для подземных вод (эти воды наиболее чистые и не требуют высоких затрат на очистку) и наибольшими для альтернативного источника водоснабжения, что связано либо с высокими расходами на транспортировку (в случае импорта), либо с затратами на опреснение морской воды⁵.

Таким образом, совокупное водопотребление для сектора i в момент t составит $x_{it} = l_{it} + y_{it}$, что приносит полезность, равную $u_i(x_{it})$, причем предполагается, что $u'_i > 0$ и $u''_i < 0$. Обозначив став-

² В действительности речной сток может существенно варьироваться во времени. Однако анализ оптимального управления в условиях стохастического стока заслуживает отдельного внимания и представляет одно из направлений развития данного исследования. Следует отметить, что в условиях неопределенности стока важную роль в управлении водными ресурсами играют запасы воды в водохранилищах. Аналогичную роль могут играть и подземные воды, что повышает их альтернативную стоимость.

³ Следует отметить, что подземные и поверхностные воды тесно связаны, сток поверхностных вод меняется при истощении подземных вод. В данной работе эта связь непосредственно не моделируется. Однако, если считать, что эксплуатация подземных источников разрешена лишь при условии, что запас вод выше некой критической отметки, то S_0 будет соответствовать не совокупному, а доступному (с учетом данной нормы) объему подземных вод. В результате даже при полном использовании S_0 запас подземных вод не оказывает существенного влияния на объем поверхностных вод.

⁴ В работе явным образом моделируется возврат воды лишь в подземные источники, поскольку только подземные воды выступают в качестве истошаемого ресурса. Поверхностные воды моделируются как неистощаемый ресурс с экзогенным ограничением на мощности, а потому нет смысла отдельно моделировать возврат поверхностных вод.

⁵ Соотношение между предельными издержками для поверхностных и подземных вод не является однозначным: издержки очистки воды обычно ниже для подземных вод, но при высокой минерализации подземные воды могут требовать дополнительной обработки. Кроме того, издержки для подземных вод варьируются в зависимости от глубины залегания.

ку процента через r , получим следующую задачу максимизации совокупной приведенной стоимости общественного благосостояния для определения оптимальных траекторий водоснабжения:

$$\int_0^{\infty} \left(\sum_i u_i(g_{it} + l_{it} + y_{it}) - c_g \sum_i g_{it} - c_l \sum_i l_{it} - c_y \sum_i y_{it} \right) e^{-rt} dt \rightarrow \max_{l_{it}, g_{it}, y_{it} \geq 0},$$

$$\dot{S}_t = - \sum_i \delta_i g_{it}, \quad S_t \geq 0, \quad S_0 - \text{задано}, \quad \sum_{i=1}^3 l_{it} \leq \bar{L}.$$

Построенная модель, безусловно, является стилизованной и отражает далеко не все особенности воды как экономического ресурса. Полученные результаты могут быть распространены и на другие природные ресурсы при наличии как истощаемого ресурса, так и его совершенного заменителя при условии, что спрос на ресурс предъявляют потребители, различающиеся коэффициентами безвозвратного использования данного ресурса. Однако вода – это наиболее близкий прототип данного природного ресурса.

Проанализируем характеристики оптимальной траектории использования ресурса. Выпишем гамильтониан в терминах приведенной стоимости:

$$H_t = \left(\sum_i u_i(g_{it} + l_{it} + y_{it}) - c_g \sum_i g_{it} - c_l \sum_i l_{it} - c_y \sum_i y_{it} \right) e^{-rt} - \lambda_t \sum_i \delta_i g_{it} + \rho_t \left(\bar{L} - \sum_{i=1}^3 l_{it} \right).$$

Дифференцируя его по объемам водозабора и запасу подземных вод, получим следующие условия первого порядка:

$$u'_i(x_{it}) \begin{cases} = c_g + \delta_i \lambda_t e^{rt}, & \text{если } g_{it} > 0, \\ \leq c_g + \delta_i \lambda_t e^{rt} & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (1)$$

$$u'_i(x_{it}) \begin{cases} = c_l + \rho_t, & \text{если } l_{it} > 0, \\ \leq c_l + \rho_t & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (2)$$

$$u'_i(x_{it}) \begin{cases} = c_y, & \text{если } y_{it} > 0, \\ \leq c_y & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (3)$$

$$\dot{\lambda}_t = 0, \quad \text{если } S_t > 0, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^3 l_{it} \begin{cases} = \bar{L}, & \text{если } \rho_t > 0, \\ \leq \bar{L} & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (5)$$

Поскольку в задаче отсутствует условие на правом конце, то необходимо выписать условие трансверсальности:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_t S_t > 0. \quad (6)$$

Как следует из условия (4), теневая оценка подземных вод λ_t является константой до тех пор, пока запас подземных вод не исчерпан.

Утверждение 1. Если ежепериодный сток поверхностных вод \bar{L} велик настолько, что $\rho_t = 0$, то альтернативный источник водоснабжения не будет использоваться ни одной отраслью.

Доказательство. Предположим, что это не так и для какой-то отрасли i имеем $y_{it} > 0$. Тогда согласно (3) имеем, что $u'_i(x_{it}) = c_y > c_l$, но в силу условий (2) выполняется $c_l \geq u'_i(x_{it})$. Эти неравенства не могут быть справедливы одновременно, откуда заключаем, что $y_{it} = 0$ для всех i .

Обозначим через p_{it} эффективную цену на воду для отрасли i , т.е. $p_{it} = u'_{it}$.

Утверждение 2. Если в течение некоего периода отрасль i осуществляет водозабор из подземных источников, то эффективная цена за вычетом предельных издержек добычи подземных вод для данной отрасли на рассматриваемом временном интервале будет расти на этом промежутке с постоянным темпом, равным ставке процента.

Доказательство. Если в течение некоего интервала $g_{it} > 0$, то в соответствии с условием (1) имеем $p_{it} \equiv u'_i(x_{it}) = c_g + \delta_i \lambda e^{rt}$. Дифференцируя по времени, находим $\dot{p}_{it} = r \delta_i \lambda e^{rt}$, откуда, поделив на $p_{it} - c_g$, получаем $\dot{p}_{it} / (p_{it} - c_g) = r$.

Покажем, что отрасль, менее эффективно применяющая истощаемые подземные воды (т.е. с большим коэффициентом водозабора δ), должна в первую очередь приступать к использованию поверхностных вод или альтернативного источника водоснабжения, нежели более эффективная отрасль.

Утверждение 3. Если отрасль i осуществляет водозабор из подземных источников, а отрасль j использует поверхностные воды или альтернативный источник водных ресурсов, то $i \geq j$.

Доказательство. Предположим, что это неверно и $i < j$, тогда $\delta_i > \delta_j$. Если фирма i потребляет подземные воды, то согласно условию (1) имеем $p_{it} \equiv u'_i(x_{it}) = c_g + \delta_i \lambda e^{rt}$, откуда с учетом $\delta_i > \delta_j$ находим $u'_i(x_{it}) = c_g + \delta_i \lambda e^{rt} > c_g + \delta_j \lambda e^{rt} \geq u'_j(x_{jt})$.

Если отрасль j использует поверхностные воды, то $u'_j(x_{jt}) = c_l + \rho_l$. С учетом полученного выше неравенства можно записать $u'_i(x_{it}) > u'_j(x_{jt}) = c_l + \rho_l$. А это противоречит условию первого порядка (2) для отрасли i .

Аналогично, если в отрасли j применяется альтернативный источник воды, то $u'_j(x_{jt}) = c_v$, откуда получаем противоречие с условием (3) для отрасли i .

Покажем, что если в некоторой отрасли одновременно задействованы подземные и поверхностные воды, то отрасль с большей эффективностью использования подземных вод не может в это же время применять поверхностные воды.

Утверждение 4. Пусть отрасль i использует одновременно подземные и поверхностные воды в момент t . Тогда отрасль j , где $j > i$, не будет применять поверхностные воды.

Доказательство. От противного: пусть в некий момент t имеем $g_{it} > 0$, $l_{it} > 0$. Предположим, что $l_{jt} > 0$, где $j > i$. Тогда согласно условиям (1) и (2) запишем $u'_i(x_{it}) = c_g + \delta_i \lambda e^{rt} = c_l + \rho_l$. Поскольку для $j > i$ имеем $\delta_j < \delta_i$, то $c_g + \delta_j \lambda e^{rt} < c_g + \delta_i \lambda e^{rt} = c_l + \rho_l$. Если $l_{jt} > 0$, то $u'_j(x_{jt}) = c_l + \rho_l$, откуда находим $c_g + \delta_j \lambda e^{rt} < u'_j(x_{jt})$, что противоречит условию (1).

Утверждение 4 интуитивно верно: агенту с более высокой эффективностью использования подземных вод нет смысла переходить на поверхностные воды, в то время как менее эффективный агент продолжает потреблять подземные воды.

3. СЛУЧАЙ НЕЭФФЕКТИВНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ НА ОБЪЕМ СТОКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Обозначим через \hat{x}_i эффективный объем потребления воды для отрасли i в ситуации отсутствия подземных вод и при неограниченном стоке поверхностных вод, т.е. $u'_i(\hat{x}_i) = c_l$. Проанализируем эффективные траектории цен в ситуации, когда сток поверхностных вод достаточно велик, а именно $\bar{L} \geq \sum_i \hat{x}_i$. Поскольку предельная полезность каждого агента, по предположению, является убывающей функцией водопотребления, можно рассмотреть обратную функцию $x_i(\cdot) \equiv (u'_i(x_i))^{-1}$.

Пусть \bar{p} – цена, при которой совокупное водопотребление равно \bar{L} , т.е. $x_1(\bar{p}) + x_2(\bar{p}) + x_3(\bar{p}) = \bar{L}$. Поскольку по определению \hat{x}_i находится из решения уравнения $u'_i(\hat{x}_i) = c_l$, то с учетом убывания предельной полезности условие $\bar{L} \geq \sum_i \hat{x}_i$ можно эквивалентным образом представить в виде $\bar{p} \leq c_l$. В этом случае ограничение по стоку поверхностных вод несущественно и оптимальное водопотребление будет описываться условиями, представленными в утверждении 5.

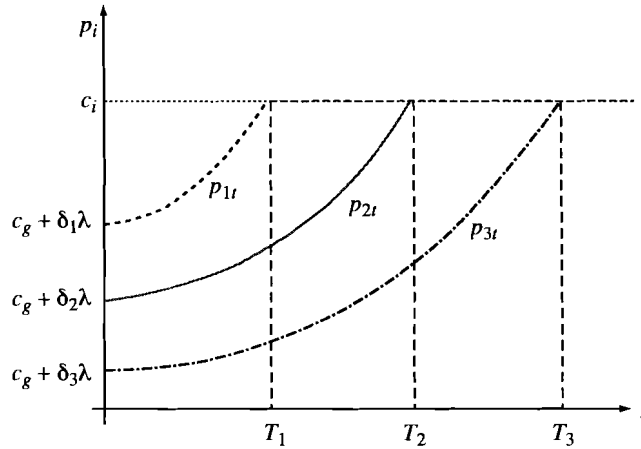


Рис. 1. Случай большого стока поверхностных вод.

Утверждение 5. В регионе с достаточно большим запасом поверхностных вод $\bar{L} \geq \sum_i \hat{x}_i$ оптимальная траектория цен на воду описывается условиями:

$$1) p_{it} \equiv u'_i(x_{it}) = \begin{cases} c_g + \delta_i \lambda e^{rt}, & t \leq T_i, \\ c_l, & t \geq T_i, \end{cases} \quad x_{it} = \begin{cases} g_{it}, & t \leq T_i, \\ l_{it}, & t > T_i, \end{cases}$$

где T_i – момент переключения отрасли I на поверхностное водоснабжение;

$$2) \text{ если } T_i > 0 \text{ и } T_j > 0, \text{ то } T_i - T_j = \ln(\delta_j / \delta_i) / r;$$

$$3) \int_0^{\infty} (\delta_1 g_{1t} + \delta_2 g_{2t} + \delta_3 g_{3t}) dt = S_0.$$

Доказательство. В силу большого запаса \bar{L} ограничение по совокупному потреблению поверхностных вод не будет сдерживающим, и в соответствии с утверждением 1 имеем $y_{it} = 0$ для всех i и t . В результате сначала будут использоваться подземные воды, цена которых будет расти в соответствии с утверждением 2 и, достигнув величины c_l , будет оставаться на этом уровне, т.е. $p_{it} \equiv u'_i(x_{it}) = c_g + \delta_i \lambda e^{rt}$ при $t \leq T_i$ и $p_{it} \equiv u'_i(x_{it}) = c_l$ и $x_{it} = l_{it}$ при $t > T_i$.

Как следует из утверждения 3, сначала на поверхностные воды переключится первая отрасль, затем – вторая, а потом – третья. Несложно убедиться в том, что в момент переключения на поверхностные воды цена для соответствующего сектора должна в точности равняться c_l , т.е. $p_{iT_i} = c_g + \delta_i \lambda e^{rT_i} = c_l$, для всех i .

Таким образом, для отраслей i и j при $T_i, T_j > 0$ имеем $p_{iT_i} = c_g + \delta_i \lambda e^{rT_i} = c_l$ и $p_{jT_j} = c_g + \delta_j \lambda e^{rT_j} = c_l$, откуда $c_g + \delta_i \lambda e^{rT_i} = c_g + \delta_j \lambda e^{rT_j}$ или $\delta_i e^{rT_i} = \delta_j e^{rT_j}$. Прологарифмировав обе части уравнения, найдем $T_i - T_j = \ln(\delta_j / \delta_i) / r$.

Поскольку согласно условию (4) λ , не меняется во времени, то условие (6) примет вид $\lim_{t \rightarrow \infty} S_t = 0$, откуда следует, что совокупный водозабор должен быть равен запасу подземных вод

$$\int_0^{\infty} (\delta_1 g_{1t} + \delta_2 g_{2t} + \delta_3 g_{3t}) dt = S_0.$$

Результирующие траектории цен изображены на рис. 1.

При небольшом запасе подземных вод теневая оценка ресурса λ , может оказаться достаточно высокой. Если в результате $c_g + \delta_1 \lambda > c_l$, то $T_1 = 0$ и соответственно сельское хозяйство с самого начала будет использовать поверхностные воды. Более того, при очень малом запасе подземных вод величина $c_g + \delta_2 \lambda$ также может оказаться выше c_l , тогда $T_2 = 0$ и подземные воды будут применяться только в промышленности.

Заметим, что в рассматриваемой экономике наблюдается нарушение принципа последовательности использования ресурса в соответствии с возрастанием предельных издержек производства (известного в литературе как принцип Герфиндаля (Herfindahl, 1967)). Так, к примеру, первая отрасль начинает потреблять более дорогие поверхностные воды, в то время как еще не исчерпан запас подземных вод.

В (Holland, 2003) было показано, что принцип Герфиндаля может нарушаться в модели с однородными потребителями ресурса при наличии ограничения на мощности. Примеры подобного рода нарушений приведены в разд. 4 и 5, где одна и та же отрасль при эффективном ограничении на сток поверхностных вод одновременно привлекает водные ресурсы с разными предельными издержками.

Однако в данной статье мы рассматриваем ситуацию с несущественным ограничением на сток поверхностных вод, а потому причина нарушения принципа Герфиндаля не связана с ограниченными мощностями. Несоответствие принципу последовательности использования ресурсов кроется в специфичности самого процесса потребления ресурса разными отраслями. Поскольку водозабор приводит к уменьшению запаса подземных вод, а коэффициенты безвозвратных потерь различаются по отраслям, то наблюдается пример отрицательного внешнего воздействия. Один и тот же объем первоначального водозабора разными отраслями приводит к различному истощению подземных вод. Наличие подобного внешнего эффекта и является причиной нарушения принципа последовательного использования ресурсов от самого дешевого к самому дорогому. С учетом разницы в фактических издержках водоснабжения (с учетом различия в рентной составляющей для разных отраслей) данный принцип соблюдается.

4. ЭФФЕКТИВНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ НА СТОК: ОТКАЗ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО РЕСУРСА

Обратимся к ситуации, когда ограничение на сток поверхностных вод для каких-то моментов времени становится существенным, т.е. $\bar{L} < \sum_i \hat{x}_i$ или $\bar{p} > c_1$. Заметим, что при $\bar{p} \leq c_y$ альтернативный ресурс использоваться не будет, так как весь спрос может быть удовлетворен за счет поверхностных вод.

Рассмотрим подробнее эффективные траектории цен при $c_1 < \bar{p} \leq c_y$. Для этого необходимо определить, является ли ограничение по поверхностным водам сдерживающим в случае, когда эти воды потребляются лишь одной и (или) двумя отраслями.

Пусть заданы следующие пороговые значения параметров: \hat{p}_1 – цена, при которой спрос первой отрасли равен \bar{L} ; \hat{p}_{12} – цена, при которой совокупный спрос первой и второй отрасли равен \bar{L} , т.е. $x_1(\hat{p}_1) = \bar{L}$ и $x_1(\hat{p}_{12}) + x_2(\hat{p}_{12}) = \bar{L}$. В зависимости от соотношения параметров при $c_1 < \bar{p} \leq c_y$ возможны три ситуации: 1) $c_1 \leq \hat{p}_1$; 2) $\hat{p}_1 < c_1 \leq \hat{p}_{12}$; 3) $\hat{p}_1 < \hat{p}_{12} < c_1$. В первом случае стока поверхностных вод оказывается недостаточно, чтобы удовлетворить спрос даже одного сектора (первого, поскольку именно этот сектор в первую очередь переключается на использование поверхностных вод). Во втором случае запас поверхностных вод несколько больше и позволяет удовлетворить спрос первого сектора, но его оказывается недостаточно для снабжения первого и второго секторов вместе. И наконец, последний случай соответствует ситуации, где поверхностных вод хватает для удовлетворения нужд первых двух секторов, но недостаточно для обеспечения потребностей трех секторов экономики.

4.1. Случай ограничения на сток, эффективного для одной отрасли.

Утверждение 6. Пусть $c_1 \leq \hat{p}_1$ и $\bar{p} \leq c_y$. Тогда оптимальная траектория цен на воду описывается условиями:

$$1) y_{it} = 0 \text{ для всех } i \text{ и } t;$$

$$2) l_{1t} = \begin{cases} 0, & t < T_1; \\ \bar{L}, & t \in [T_1, T_3]; \\ x_{1t}, & t \geq T_3, \end{cases} \quad l_{2t} = \begin{cases} 0, & t < T_3; \\ \bar{L} - l_{1t}, & t \in [T_3, T_4]; \\ x_{2t}, & t \geq T_4, \end{cases} \quad l_{3t} = \begin{cases} 0, & t < T_5; \\ \bar{L} - l_{1t} - l_{2t}, & t \geq T_5; \end{cases}$$

$$3) \int_0^{T_6} (\delta_1 g_{1t} + \delta_2 g_{2t} + \delta_3 g_{3t}) dt = S_0.$$

Доказательство. Поскольку при $\bar{p} < c_y$ сток поверхностных вод оказывается достаточным для удовлетворения спроса на воду в экономике, то дальнейшего роста цен наблюдаться не будет. Соответственно $y_{it} = 0$ для всех i и t .

Первоначально все отрасли будут использовать подземные воды, цена которых будет расти по мере истощения запаса $p_{it} = u'_i(x_{it}) = c_g + \delta_i \lambda e^{rt}$. Однако когда в момент T_1 цена для первой отрасли достигнет уровня c_p , в случае $c_l < \hat{p}_1$ полного переключения этой отрасли на поверхностные воды не произойдет, поскольку их запас недостаточен для удовлетворения спроса.

Первая отрасль не сможет переключиться на потребление только поверхностных вод, пока цена не достигнет уровня \hat{p}_1 . Это означает, что при цене c_l первая отрасль будет использовать поверхностные воды в объеме \bar{L} , а оставшийся спрос удовлетворять за счет подземных вод. Поскольку $g_{1t} > 0$ и $l_{1t} > 0$, то согласно (1) и (2) имеем $p_{1t} \equiv u'_1(x_{1t}) = c_g + \delta_1 \lambda e^{rt} = c_l + \rho_l$, т.е. $\rho_l > 0$. Таким образом, цена будет расти в соответствии с траекторией $p_{1t} = c_g + \delta_1 \lambda e^{rt}$ до момента T_2 , когда цена достигнет уровня \hat{p}_1 , как показано на рис. 2.

Вторая отрасль согласно утверждению 4 не может начать применение поверхностных вод до момента T_2 , т.е. пока первая отрасль полностью не переключится на поверхностные воды. Однако и в момент T_2 вторая отрасль не сможет перейти на поверхностные воды, поскольку это повлекло бы скачкообразное изменение цены с уровня $p_{2T_1} = c_g + \delta_2 \lambda e^{rT_2}$ до уровня $\hat{p}_1 = c_g + \delta_1 \lambda e^{rT_2} > c_g + \delta_2 \lambda e^{rT_2}$, что противоречит эффективности траектории. В результате в течение некоторого промежутка времени от T_2 до T_3 первая отрасль будет единственным потребителем поверхностных вод, цена которых будет оставаться неизменной на уровне \hat{p}_1 . При этом вторая отрасль будет ориентирована на подземные воды, и лишь когда цена для второй отрасли поднимется до уровня \hat{p}_1 , она также начнет потреблять поверхностные воды.

Поскольку начиная с момента T_3 первая и вторая отрасли используют поверхностные воды, то цены для них будут совпадать $p_{1t} = c_l + \rho_l = p_{2t}$. Кроме того, пока цена не достигнет уровня \hat{p}_{12} , вторая отрасль будет применять поверхностные воды. В результате цены продолжат расти $p_{2t} = c_g + \delta_2 \lambda e^{rt} = c_l + \rho_l$. В момент T_4 , когда цены для первых двух отраслей достигнут уровня \hat{p}_{12} , отрасли перейдут исключительно на поверхностные воды. Третья отрасль не может начать использование поверхностных вод, поскольку это повлекло бы скачкообразный рост цен на эту воду с $p_{3T_3} = c_g + \delta_3 \lambda e^{rT_4}$ до уровня $\hat{p}_{12} = c_g + \delta_2 \lambda e^{rT_4} > c_g + \delta_3 \lambda e^{rT_4}$, что противоречит эффективности траектории. Таким образом, в течение интервала $[T_4, T_5]$ первые две отрасли будут полностью утилизировать поверхностный сток, а третья отрасль – лишь подземные воды, пока их цена не достигнет в момент T_5 уровня \hat{p}_{12} : $c_g + \delta_3 \lambda e^{rT_5} = \hat{p}_{12}$. Затем все три отрасли будут пользоваться поверхностными водами, и потому их цены будут совпадать $p_{1t} = p_{2t} = p_{3t} = c_l + \rho_l$. Поскольку стока поверхностных вод при ценах, меньших \bar{p} , недостаточно для удовлетворения нужд всех трех отраслей, то третья отрасль продолжает потреблять подземные воды, и потому цена растет $p_{it} = c_g + \delta_3 \lambda e^{rt}$ для всех i . При достижении уровня \bar{p} в момент T_6 и последняя отрасль переключится на поверхностные воды, и далее цены останутся неизменными.

Осталось определить начальные значения цен, которые зависят от одного параметра – теневой оценки запаса подземных вод λ . Значение λ должно быть достаточно высоким (по сравнению со случаем большого запаса подземных вод), чтобы обеспечить потребность в этих водах на протяжении большого отрезка времени, поскольку ни одна из отраслей не перестает использовать подземные воды при цене c_l . Итак, величина λ , определяется из условия

$$\int_0^{T_6} (\delta_1 g_{1t} + \delta_2 g_{2t} + \delta_3 g_{3t}) dt = S_0,$$

где

$$g_{it} = \begin{cases} x_{it}(c_g + \delta_i \lambda e^{rt}), & t \leq T_1; \\ \bar{L} - x_{it}(c_g + \delta_i \lambda e^{rt}), & t \in [T_1, T_2]; \\ 0, & t \leq T_2, \end{cases}$$

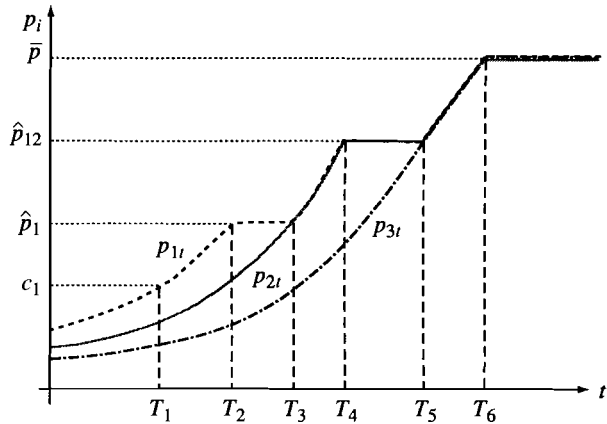


Рис. 2. Случай малого стока поверхностных вод, недостаточного для водоснабжения первого сектора: $c_1 < \hat{p}_1 < \bar{p} < c_y$.

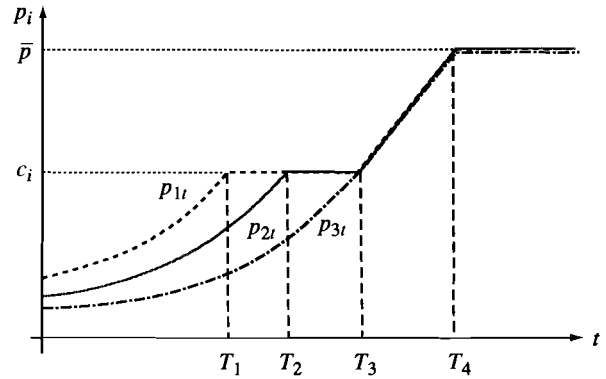


Рис. 3. Случай стока поверхностных вод, достаточного для водоснабжения первых двух секторов, но недостаточного для водоснабжения всех трех: $\hat{p}_{12} < c_1 < \bar{p} \leq c_y$.

$$g_{2t} = \begin{cases} x_{2t}(c_g + \delta_2 \lambda e^{rt}), & t \leq T_3; \\ \bar{L} - l_{1t} - x_{2t}(c_g + \delta_2 \lambda e^{rt}), & t \in [T_3, T_4]; \\ 0, & t \geq T_4, \end{cases}$$

$$g_{3t} = \begin{cases} x_{3t}(c_g + \delta_3 \lambda e^{rt}), & t \leq T_5; \\ \bar{L} - l_{1t} - l_{2t} - x_{3t}(c_g + \delta_3 \lambda e^{rt}), & t \in [T_5, T_6]; \\ 0, & t \geq T_6. \quad \blacksquare \end{cases}$$

4.2. Ограничение на сток, неэффективное для двух отраслей, но эффективное для экономики в целом. Пусть $\hat{p} \leq c_y$ и $\hat{p}_{12} < c_1$. Тогда оптимальная траектория цен на воду описывается условиями:

1) $y_{it} = 0$ для всех i и t ;

$$2) p_{it} = \begin{cases} c_g + \delta_i \lambda e^{rt}, & t \leq T_i; \\ c_i, & t \in [T_1, T_3]; \\ c_g + \delta_3 \lambda e^{rt}, & t \in [T_3, T_4]; \\ \bar{p}, & t \geq T_4, \end{cases} \quad l_{it} = \begin{cases} 0, & t < T_i; \\ x_{it}, & t \geq T_i, \end{cases} \quad p_{3t} = \begin{cases} c_g + \delta_3 \lambda e^{rt}, & t \leq T_4; \\ \bar{p}, & t \geq T_4, \end{cases}$$

$$l_{3t} = \begin{cases} 0, & t < T_4; \\ x_{3t}, & t \geq T_4 \end{cases} \quad i = 1, 2;$$

$$3) \int_0^{T_4} (\delta_1 g_{1t} + \delta_2 g_{2t} + \delta_3 g_{3t}) dt = S_0.$$

Данные результаты получаются аналогично утверждению 6. Результирующие траектории цен изображены на рис. 3.

4.3. Ограничение на сток, неэффективное для одной отрасли, но эффективное для двух отраслей. Пусть $\bar{p} < c_y$ и $\hat{p}_1 < c_1 \leq \hat{p}_{12}$. Тогда оптимальная траектория цен на воду описывается условиями:

1) $y_{it} = 0$ для всех i и t ;

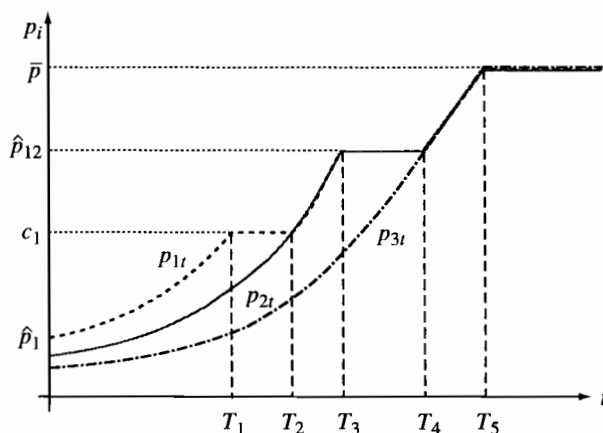


Рис. 4. Случай стока поверхностных вод, достаточного для водоснабжения первого сектора, но недостаточного для водоснабжения двух секторов: $\hat{p}_1 < c_y \leq \hat{p}_{12} < \bar{p} \leq c_y$.

$$2) p_{1t} = \begin{cases} c_g + \delta_1 \lambda e^{rt}, & t \leq T_1; \\ c_b, & t \in [T_1, T_2]; \\ c_g + \delta_2 \lambda e^{rt}, & t \in [T_2, T_3]; \\ \hat{p}_{12}, & t \in [T_3, T_4]; \\ c_g + \delta_3 \lambda e^{rt}, & t \in [T_4, T_5]; \\ \bar{p}, & t \geq T_5, \end{cases} \quad p_{2t} = \begin{cases} c_g + \delta_2 \lambda e^{rt}, & t \leq T_3; \\ p_{1t}, & t \geq T_3, \end{cases} \quad p_{3t} = \begin{cases} c_g + \delta_3 \lambda e^{rt}, & t \leq T_5; \\ \bar{p}_{1t}, & t \geq T_5, \end{cases}$$

$$l_{1t} = \begin{cases} 0, & t < T_1; \\ x_{1t}, & t \geq T_1, \end{cases} \quad l_{2t} = \begin{cases} 0, & t < T_2; \\ \bar{L} - l_1, & t \in [T_2, T_3]; \\ x_{2t}, & t \geq T_3, \end{cases} \quad l_{3t} = \begin{cases} 0, & t < T_4; \\ \bar{L} - l_{1t} - l_{2t}, & t \geq T_4, \end{cases}$$

$$3) \int_0^{T_4} (\delta_1 g_{1t} + \delta_2 g_{2t} + \delta_3 g_{3t}) dt = S_0.$$

Данное утверждение доказывается аналогично утверждению 6. Результирующие траектории цен изображены на рис. 4. Этот случай является промежуточным между ситуациями, изображенными на рис. 2, 3. С одной стороны, объем стока не столь мал, как на рис. 2, и его достаточно для обеспечения потребностей первой отрасли. Потому по достижении цены, равной c_b , первая отрасль полностью переключается на поверхностные воды. С другой стороны, объем стока оказывается недостаточным для обеспечения потребностей обоих секторов при этой цене, а потому второй сектор продолжает использовать подземные воды даже после того, как цена p_2 достигает величины c_f . В итоге вторая отрасль переключается полностью на поверхностные источники водоснабжения лишь тогда, когда цена достигнет уровня \hat{p}_{12} , при котором совокупный спрос первых двух отраслей в точности равен объему стока поверхностных вод.

5. ЭФФЕКТИВНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ НА СТОК И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО РЕСУРСА

Во всех рассмотренных выше случаях объем стока поверхностных вод оказывался достаточно большим, что делало невыгодным использование альтернативного, значительно более дорогого источника водоснабжения. Обратимся к анализу ситуации, в которой на определенном этапе альтернативный источник водоснабжения оказывается предпочтительнее, т.е. к случаю $\bar{p} > c_y$.

Как и в п. 4.3, для классификации ситуаций будем применять два пороговых значения цен: \hat{p}_1 – цена, при которой спрос первой отрасли равен \bar{L} ; \hat{p}_{12} – цена, при которой спрос первой и

второй отраслей вместе равен \bar{L} . Заметим, что в силу убывания спроса каждой отрасли (следующего из гипотезы об убывающей предельной полезности) имеем $\hat{p}_1 < \hat{p}_{12}$.

В зависимости от соотношения параметров c_y , c_l , \hat{p}_1 и \hat{p}_{12} возможны следующие ситуации: 1) $c_y < \hat{p}_1$; 2) $c_l \leq \hat{p}_1 < \hat{p}_{12} < c_y$; 3) $c_l \leq \hat{p}_1 < c_y < \hat{p}_{12}$; 4) $\hat{p}_1 < \hat{p}_{12} < c_l$; 5) $\hat{p}_1 < c_l < \hat{p}_{12} < c_y$; 6) $\hat{p}_1 < c_l < c_y < \hat{p}_{12}$.

В первых трех случаях сток поверхностных вод недостаточен для удовлетворения спроса даже одной отрасли. Эти ситуации различаются моментом, начиная с которого потребители могут переключиться на альтернативный источник водоснабжения. В первом случае сток поверхностных вод оказывается столь мал, что переход на альтернативный ресурс возможен еще до того момента, как первая отрасль выйдет на ограничение по мощности для поверхностных вод.

Во втором случае запас поверхностных вод существенно больше, а именно, объем стока оказывается достаточным для удовлетворения потребностей не только первой, но и второй отрасли при некоторой цене, меньшей, чем предельные издержки производства альтернативного ресурса. В результате переключение секторов на альтернативный ресурс произойдет лишь после того, как оба сектора вместе выйдут на ограничение по мощности для источника поверхностного водоснабжения.

Третий случай представляет собой некий промежуточный вариант: использование альтернативной технологии начнется только после того, как первая отрасль выйдет на ограничение по мощности, но до того, как ограничение по мощности окажется существенным для двух секторов.

В ситуациях 4–6, в отличие от 1–3, сток поверхностных вод оказывается достаточным для удовлетворения спроса первой отрасли и для удовлетворения спроса двух отраслей (случай 4). Если же при цене c_l величины стока хватает лишь для одной отрасли, но мало для двух отраслей (случаи 5 и 6), то возможны следующие два варианта: в случае 5 переключение на альтернативный источник произойдет после того, как обе отрасли выйдут на ограничение по мощности для поверхностных вод, а в случае 6 – до этого момента.

6. АНАЛИЗ СРАВНИТЕЛЬНОЙ СТАТИКИ

Как показал анализ, проведенный в разд. 5, эффективные траектории цен отраслей зависят от экзогенных параметров, таких как запас подземных вод, предельные издержки водоснабжения (свой для каждого источника), ставка процента, ограничение на объем стока поверхностных вод и эффективность водопользования. Заметим, что роль ограничения на объем водозабора была проанализирована выше, а потому рассмотрим, как остальные параметры воздействуют на эффективные цены в случае, когда ограничение по объему речного стока не является сдерживающим.

Утверждение 7. Пусть регионы A и B различаются лишь запасами водных ресурсов, причем регион B обладает большим запасом подземных вод $S_0^B > S_0^A$, сток поверхностных вод в обоих регионах достаточно велик $\bar{L}^A \geq \sum_i \hat{x}_i$ и $\bar{L}^B \geq \sum_i \hat{x}_i$. Тогда $\lambda^A > \lambda^B$ и $T_i^A \leq T_i^B$ для всех i , причем неравенство строгое, если $T_i^B > 0$.

Доказательство. В соответствии с утверждением 4, если ограничение на сток поверхностных вод не является сдерживающим, то эффективные траектории должны удовлетворять условиям

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{it} \equiv u'_i(x_{it}) = c_g + \delta_i \lambda e^{rt}, \quad x_{it} = g_{it}, \quad t \leq T_i; \\ p_{it} \equiv u'_i(x_{it}) = c_b, \quad x_{it} = l_{it}, \quad t \geq T_i; \\ \int_0^\infty (\delta_1 g_{1t} + \delta_2 g_{2t} + \delta_3 g_{3t}) dt = S_0. \end{array} \right.$$

Докажем от противного: предположим, что $\lambda^A \leq \lambda^B$, тогда для периода, в течение которого в обоих регионах отрасль i использует подземные воды, имеем $u'_i(g_{it}^A) = c_g + \delta_i \lambda^A e^{rt} \leq c_g + \delta_i \lambda^B e^{rt} = u'_i(g_{it}^B)$,

откуда в силу убывания предельной полезности $g_{ii}^A \geq g_{ii}^B$. Это означает, что при $c_g + \delta_i \lambda^B < c_i$ отрасль i в регионе B быстрее достигнет уровня предельной полезности, равного c_i , т.е. $T_i^A \geq T_i^B$. В результате суммарное водопотребление подземных вод в регионе B окажется не выше, чем в A :

$$S_0^A = \sum_{i=1}^3 \int_0^{T_i^A} \delta_i g_{ii}^A dt \geq \sum_{i=1}^3 \int_0^{T_i^B} \delta_i g_{ii}^A dt \geq \sum_{i=1}^3 \int_0^{T_i^B} \delta_i g_{ii}^B dt = S_0^B,$$

но это противоречит условию о том, что $S_0^A \geq S_0^B$. Полученное противоречие доказывает, что $\lambda^A > \lambda^B$. Пусть $c_g + \delta_i \lambda^B < c_i$, тогда отрасль i использует вначале подземные воды и $T_i^B > 0$. Кроме того, $c_g + \delta_i \lambda^A e^{rT_i^A} = c_i = c_g + \delta_i \lambda^B e^{rT_i^B}$ или $\lambda^A e^{rT_i^A} = \lambda^B e^{rT_i^B}$, откуда находим, что $T_i^A < T_i^B$. В противном случае, если $c_g + \delta_i \lambda^B \geq c_i$, то отрасль не применяет подземные воды и $T_i^B = T_i^A = 0$.

Утверждение 8. Пусть регионы A и B различаются лишь издержками водоснабжения, причем $c_g^B \geq c_g^A$ и (или) $c_i^B \leq c_i^A$, причем хотя бы одно неравенство строгое. При этом сток поверхностных вод в обоих регионах достаточно велик: $\bar{L}^A \geq \sum_i \hat{x}_i^A$ и $\bar{L}^B \geq \sum_i \hat{x}_i^B$. Тогда $\lambda^A > \lambda^B$.

Данное утверждение доказывается аналогично утверждению 7.

Утверждение 9. Пусть регионы A и B различаются лишь издержками водоснабжения для подземных источников, причем $c_g^B > c_g^A$. При этом сток поверхностных вод в обоих регионах достаточно велик: $\bar{L}^A \geq \sum_i \hat{x}_i^A$ и $\bar{L}^B \geq \sum_i \hat{x}_i^B$. Тогда $p_{03}^A < p_{03}^B$.

Доказательство. Сопоставим начальные цены в рассматриваемых регионах. Покажем, что начальная цена в отрасли с наивысшим коэффициентом эффективности использования подземных вод будет ниже в регионе A . Предположим, что это не так и $p_{30}^A = c_g^A + \delta_3 \lambda^A \geq c_g^B + \delta_3 \lambda^B = p_{30}^B$. Тогда с учетом того, что $\lambda^A > \lambda^B$, имеем $p_{3i}^A - p_{3i}^B = c_g^A - c_g^B + \delta_3 e^{rT_i} (\lambda^A - \lambda^B) > c_g^A - c_g^B + \delta_3 (\lambda^A - \lambda^B) \geq 0$, т.е. $p_{3i}^A > p_{3i}^B$. Кроме того, $p_{ii}^A - p_{ii}^B = c_g^A - c_g^B + \delta_i e^{rT_i} (\lambda^A - \lambda^B) > c_g^A - c_g^B + \delta_3 e^{rT_i} (\lambda^A - \lambda^B) > 0$ для $i < 3$, т.е. и в остальных отраслях региона A цены будут выше. Это означает, что цены каждой отрасли в регионе A раньше достигнут уровня c_i . Действительно, $c_i = c_g^A + \delta_i \lambda^A e^{rT_i^A} = p_{iT_i^A}^A > p_{iT_i^A}^B$, т.е. в момент T_i^A цена в регионе B ниже c_i . Это означает, что она достигнет этого уровня в момент $T_i^B > T_i^A$.

Итак, поскольку цены на подземные воды в регионе A выше, то в силу убывающей функции спроса добыча будет меньше ($g_{ii}^A < g_{ii}^B$). Кроме того, период использования подземных вод в регионе A короче ($T_i^B > T_i^A$), откуда следует, что совокупный водозабор в регионе A окажется меньше, что невозможно при одинаковом запасе подземных вод. Полученное противоречие доказывает, что начальная цена в третьей отрасли региона A должна быть ниже, чем в регионе B : $p_{30}^A < p_{30}^B$.

Утверждение 10. Пусть регионы A и B различаются лишь издержками водоснабжения для поверхностных источников, причем $c_i^A > c_i^B$. При этом сток поверхностных вод в обоих регионах достаточно велик: $\bar{L}^A \geq \sum_i \hat{x}_i^A$ и $\bar{L}^B \geq \sum_i \hat{x}_i^B$. Тогда $p_{ii}^A > p_{ii}^B$ и $T_i^A > T_i^B$ для всех i .

Доказательство. Сопоставим цены в рассматриваемых регионах. Поскольку согласно утверждению 8 имеем $\lambda^A > \lambda^B$, то $p_{ii}^A - p_{ii}^B = \delta_i e^{rT_i} (\lambda^A - \lambda^B) > 0$ при $g_{ii}^A > 0$ и $g_{ii}^B > 0$. Согласно утверждению 5 можно записать $T_i^k - T_j^k = \ln(\delta_j / \delta_i) / r$, т.е. в двух регионах отрезки времени между переключением на использование поверхностных вод для любых двух отраслей окажутся одинаковыми. Отсюда можно заключить, что $T_i^A > T_i^B$ для всех i . От противного: пусть для какой-то отрасли j это условие не выполнено и $T_j^A \leq T_j^B$. Тогда $T_i^A = T_j^A + \ln(\delta_j / \delta_i) / r \leq T_j^B + \ln(\delta_j / \delta_i) / r = T_i^B$. Таким образом, в регионе B в силу низких цен на воду объемы водопотребления оказываются выше, а период эксплуатации подземных вод для каждой отрасли не меньше, чем в регионе A . Это означает, что совокупный объем использования подземных вод в регионе B должен быть больше, но это невозможно в силу одинаковых запасов вод в двух регионах.

Результаты анализа сравнительной статистики для случая неэффективного ограничения на объем стока поверхностных вод

Характеристики траектории Изменение	Рента, $\delta_i \lambda$	Цена для отрасли i в момент $t(t < T_i)$, p_{it}	Момент переключения отрасли i на поверхностное водоснабжение, T_i
Увеличение запаса подземных вод, S_0	–	–	+
Увеличение предельных издержек водоснабжения из подземных источников, c_g	–	+/-	+/-
Увеличение предельных издержек для поверхностного водоснабжения, c_i	+	+	+
Снижение коэффициента водопотребления подземных вод для отрасли i , δ_i	–	–	+

Обозначения: “+” – растет, “–” – падает, “+/-” – изменяется неоднозначно.

Наконец, обратимся к анализу эффективности водопользования. Рассмотрим два региона, которые различаются лишь коэффициентами безвозвратного использования подземных вод.

Утверждение 11. Пусть регионы A и B различаются лишь эффективностью использования подземных вод: $\delta_j^B > \delta_j^A$ и $\delta_i^B = \delta_i^A = \delta_i$ для всех $i \neq j$. Будем считать, что сток поверхностных вод в обоих регионах достаточно велик: $\bar{L}^A \geq \sum_i \hat{x}_i^A$ и $\bar{L}^B \geq \sum_i \hat{x}_i^B$. Тогда $\delta_j \lambda^B > \delta_j \lambda^A$, $p_{jt}^B > p_{jt}^A$ и $T_j^B < T_j^A$.

Данное утверждение доказывается аналогично утверждению 10.

Результаты, представленные в таблице, вполне согласуются с интуицией. К примеру, снижение коэффициента безвозвратного водопотребления (последняя строка) аналогично эффекту увеличения запаса подземных вод и соответственно приводит к снижению ренты (как показателю, отражающему редкость ресурса). Уменьшение рентной составляющей, в свою очередь, влечет падение цены ресурса. Поскольку подземные воды дешевле, то становится менее выгодно переключаться на использование более дорогих поверхностных вод и соответственно эта смена источника водоснабжения происходит позже.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе построена и исследована модель водопользования для экономики с тремя секторами (промышленным, сельскохозяйственным и жилищно-коммунальным), где в качестве источника пригодной для потребления воды могут выступать поверхностные воды (в отношении которых присутствует ограничение на пополняемый сток), истощаемые подземные воды, а также имеется доступ к альтернативному источнику водоснабжения, в качестве которого могут выступать импорт воды из другого региона или технология опреснения морской воды.

Объем потребления подземных вод определяется не только водозабором, но и способом потребления воды: забранная вода частично возвращается обратно и коэффициенты безвозвратного потребления различаются по секторам экономики. Показано, что отрасль, менее эффективно использующая истощаемые подземные воды (т.е. с большим коэффициентом водозабора), должна в первую очередь переходить на поверхностные воды или альтернативный источник водоснабжения, чем более эффективная отрасль.

В статье получены траектории эффективного водопотребления и цен в зависимости от эффективности ограничений на объем стока поверхностных вод. Показано, что в модели даже при неэффективности ограничения на объем стока возможно одновременное использование дешевого и дорогого источника водоснабжения, т.е. имеет место нарушение принципа Герфиндаля. Это объясняется наличием специфического внешнего воздействия, вызванного различиями в исто-

щении подземных вод для разных отраслей при одинаковых объемах потребления подземных вод. Альтернативные издержки водопотребления для этих отраслей оказываются различными, что влечет последовательное переключение отраслей на более дорогие источники водопотребления и, как следствие, наблюдается одновременное потребление дорогого и дешевого источников водоснабжения разными отраслями.

Для случая неэффективного ограничения, накладываемого на объем стока поверхностных вод, проведен анализ сравнительной статистики (исследовано влияние запаса подземных вод, предельных издержек водоснабжения из подземных и поверхностных источников, а также коэффициента водопотребления подземных вод на эффективные траектории цен и водопотребления). Показано, что увеличение запаса подземных вод и (или) уменьшение коэффициента водопотребления подземных вод для некоей отрасли ведет к снижению ренты и цен при использовании подземных вод, а также отодвигает момент переключения на поверхностное водоснабжение. Увеличение предельных издержек водоснабжения из подземных источников оказывает аналогичное влияние на ренту, но неоднозначно влияет на цены и момент переключения на поверхностное водоснабжение, а повышение предельных издержек поверхностного водоснабжения влечет рост ренты, цен и приближает момент переключения на поверхностное водоснабжение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. (2006): Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука.
- Chakravorty U., Hochman E., Umetsu Ch., Zilberman D. (2005): Water Distribution and Market Power. Working Paper Available at SSRN. <http://ssrn.com/abstract=734427>.
- Garcia S., Reynaud A. (2004): Estimating the benefits of efficient water pricing in France // *Resource and Energy Econ.* Vol. 26. № 1.
- Gaudett G., Moreaux M., Withagen C. (2006): The Alberta Dilemma: Optimal Sharing of a Water Resource by an Agricultural and an Oil Sector // *J. of Environmental Econ. and Management.* Vol. 52. № 2.
- Griffin R. (2001): Effective Water Pricing // *J. of the American Water Resources Association.* Vol. 37. № 5.
- Heal G. (1976): The Relationship between Price and Extraction Cost for a Resource with a Backstop Technology // *The Bell J. of Econ.* Vol. 7. № 2.
- Herfindahl O.C. (1967): Depletion and Economic Theory. In: "Extractive resources and taxation: Proceedings" Gaffney M. (ed.). Wisconsin: University of Wisconsin Press, Madison.
- Holland S.P. (2003): Extraction Capacity and the Optimal Order of Extraction // *J. of Environmental Econ. and Management.* Vol. 45. № 3.
- Hotelling H. (1931): The Economics of Exhaustible Resources // *J. of Polit. Econ.* Vol. 39. № 2.
- Johansson R.C. (2000): Pricing Irrigation Water: a Literature Survey. World Bank Policy Research Working Paper № 2449.
- Shiklomanov L.A. (2003): World Water Resources at the Beginning of the XXIst Century. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zhou Yu., Tol R. (2004): Implications of Desalination for Water Resources in China: an Economic Perspective // *Desalination.* Vol. 164.

Поступила в редакцию
07.07.2008 г.

Efficient Water Pricing under Heterogeneous Demands

A. A. Freedman

This paper deals with efficient water price paths for the economy with different supplies (groundwater, surface water and backstop technology) and demands that differ in water reutilization coefficients. The effect of limited surface water inflow on optimal price and water allocation is analyzed. In presence of heterogeneous demands the least-cost-first principle can be violated. Comparative static's analysis demonstrates how marginal extraction costs, capacity constraint of surface water and water consumption pattern affects the efficient pricing and consumption paths.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

- ФРИДМАН**
Алла Александровна – кандидат экономических наук, доцент ГУ ВШЭ
- ЛИВШИЦ**
Вениамин Наумович – доктор экономических наук, профессор, заведующий отделом ИСА
- ДРИГО**
Михаил Федорович – кандидат экономических наук, доцент Брянского государственного технического университета
- СМОЛЯК**
Сергей Абрамович – доктор экономических наук, главный научный сотрудник ЦЭМИ
- ГРАЧЕВ**
Иван Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, депутат Государственной думы
- ЦЫМБАЛ**
Виталий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией Института экономики переходного периода
- ХАЧАТРЯН**
Агавард Хачатурович – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института математики Национальной академии наук Республики Армения
- ХАЧАТРЯН**
Хачатур Агавардович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института математики Национальной академии наук Республики Армения
- ГОЛЬШТЕЙН**
Евгений Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией ЦЭМИ
- КРУТИКОВ**
Владимир Николаевич – доктор технических наук, доцент Кемеровского государственного университета
- ГОРСКАЯ**
Татьяна Александровна – аспирант Кемеровского государственного университета