

**А. А. Фридман<sup>1</sup>**

канд. экон. наук, доцент кафедры микроэкономического анализа Государственного университета — Высшая школа экономики (Москва)

## **ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ЭФФЕКТИВНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОДООХРАННОГО БЮДЖЕТА**

### **Введение**

С каждым годом в мире все острее ощущается дефицит пресной воды. Причины возникшего дефицита кроются не только в неравномерном распределении водных ресурсов, но и в неэффективном управлении этими ресурсами. Истощение водных ресурсов, с одной стороны, связано с низкими тарифами на воду, что приводит к излишне интенсивному использованию этих ресурсов, и, с другой стороны, с ухудшением качества воды, вызванным ее загрязнением.

Политика в области защиты окружающей среды существенно различается между странами, но, как правило, включает установление неких нормативов для сточных вод, нарушение которых сопряжено с соответствующими штрафными санкциями, и мероприятия по мониторингу и очистке водных ресурсов. Уровень централизации управления водными ресурсами существенно варьируется между странами, а также наблюдается изменение уровня централизации для одной и той же страны со временем, причем однозначной тенденции к увеличению или, напротив, уменьшению степени централизации не наблюдается. Например, в США с 1980-х гг. началась реализация политики «нового федерализма», в ходе которой имела место существенная децентрализация в области природоохранной деятельности. В то же время в странах Европейского сообщества наблюдалась обратная тенденция: в 1986 г. была принята Единая европейская конвенция по защите окружающей среды.

Неоднозначная роль уровня централизации управления водными ресурсами может объясняться следующими причинами. Как известно, при наличии экстерналий (в случае с водными ресурсами имеет место отрицательное внешнее воздействие, возникающее в результате загрязнения) равновесие, как правило, ведет к неэффективному распределению ресурсов. Особенность водных ресурсов состоит в наличии естественного природного регулирования, позволяющего постепенно нейтрализовать результаты загрязнения. Кроме того, внешнее воздействие ограничивается рамками соответствующих бассейновых округов, а потому децентрализация может повлечь проблемы лишь в том случае, если один бассейновый округ оказывается разделенным между несколькими юрисдикциями. Централизованный подход к управлению водными ресурсами, в свою очередь, может вызывать искажения в распределении ресурсов при дифференциации регионов (например, в терминах предпочтений или издержек

---

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

природоохранной деятельности, если данная информация является частной). Анализ этой дилеммы на примере загрязнения пограничных рек с учетом стратегического взаимодействия агентов (List, Mason, 2001) показал, что децентрализованный подход является предпочтительным в ситуации, когда начальный уровень загрязнения невелик и агенты достаточно разнородны.

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.

Эмпирические исследования (Lipscomb, Mobarak, 2007; Sigman, 2005) также дают неоднозначные результаты. В частности, в работе (Sigman, 2005) показано, что в тех штатах США, где контроль за состоянием водных ресурсов делегирован местным властям, уровень загрязнения вниз по течению на 4% превышает соответствующий уровень для штата, где имеет место централизованный подход. Однако, как замечает автор, полученные результаты не являются однозначным свидетельством в пользу централизации, поскольку в исследовании не учитывались возможные выгоды от децентрализации, такие как большая гибкость регулирования.

### Модель регулирования загрязнения водных ресурсов

Рассмотрим экономику, где несколько регионов объединены в рамках одного бассейнового округа. Будем считать, что они расположены вдоль одной реки. При этом регионы могут различаться как численностью населения, так и видами хозяйственной деятельности, что приводит к существенной дифференциации оценки загрязнения водных ресурсов между регионами. В каждом регионе имеется некоторое конечное количество источников загрязнения. При этом в силу природного регулирования имеет место естественное очищение воды, эффективность которого определяется расстоянием между двумя соседними источниками загрязнения.

Власти региона могут воздействовать на уровень загрязнения, проводя соответствующие мероприятия по очистке вод. Поскольку бюджет ограничен, то возникает проблема оптимального распределения этих средств.

Будем считать, что начальный уровень загрязненности вод составляет  $X_0$ . Пусть загрязнение, создаваемое в пункте  $i$ , составляет  $e_i$ , а расходы на сокращение загрязнения —  $m_i$ . Будем считать, что каждый рубль, потраченный на очистку водных ресурсов, сокращает загрязнение на величину  $\alpha > 0$ , т. е. результирующий уровень загрязнения в данной точке составит  $X_i = (1 - \delta_i)X_{i-1} + e_i - \alpha m_i$ , где  $\delta_i$  — коэффициент, отражающий эффективность естественного природного регулирования, который, в частности, будет возрастать по мере увеличения расстояния между соседними источниками загрязнения (в данном случае между пунктами  $i - 1$  и  $i$ ).

Благосостояние населенного пункта  $i$  задается следующей функцией полезности:  $u_i(e_i, X_i) = \theta_i v(e_i) - c(X_i)$ , где  $v' > 0$ ,  $v'' > 0$ ,  $c' > 0$  и  $c'' > 0$ . Прокомментируем положительную зависимость полезности от объема загрязненных стоков. В данной модели загрязненные стоки рассматриваются как побочный продукт водопотребления, т. е. фактически отражает положительную зависимость уров-

ня благосостояния от объема водопотребления. С другой стороны, сброс загрязненных стоков увеличивает общий уровень загрязнения  $X$ , что снижает уровень благосостояния. Параметр  $\theta$  отражает специфику предпочтений данного региона.

Общий бюджет региона на охрану и очистку вод составляет  $M$ , а потому должен выполняться финансовый баланс  $\sum_i m_i \leq M$ . Эффективное распределение бюджетных средств на очистку водных ресурсов определяется из решения следующей задачи:

$$\begin{aligned} & \max \sum_i (\theta_i v(e_i) - c(X_i)), \\ & X_i = (1 - \delta_i)X_{i-1} + e_i - \alpha m_i, \\ & \sum_i m_i \leq M, \\ & X_0 \text{ — задано.} \end{aligned} \quad (1)$$

### Характеристики эффективного распределения ресурсов

Обозначим через  $\lambda_i$  множитель Лагранжа, соответствующий уравнению динамики загрязнения, а через  $\mu$  — множитель Лагранжа, соответствующий ограничению по бюджету, и выпишем следующие условия первого порядка:

$$\begin{aligned} \theta_i v'(e_i) &= \lambda_i, \\ c'(X_i) &= \lambda_i - \lambda_{i+1}(1 - \delta_{i+1}), \quad i < N, \\ c'(X_N) &= \lambda_N, \\ \alpha \lambda_i &\leq \mu, \\ \alpha \lambda_i &= \mu, \quad m_i > 0. \end{aligned}$$

Для удобства анализа положим  $\delta_{N+1} = 1$ , тогда уравнение  $c'(X_i) = \lambda_i - \lambda_{i+1}(1 - \delta_{i+1})$  будет иметь место и для  $i = N$ .

Рассмотрим ситуацию, при которой в каждом пункте будут осуществляться мероприятия по очистке вод, т. е.  $m_i > 0$  для всех  $i$ . Тогда  $\theta_i v'(e_i) = \lambda_i = \mu/\alpha$ , откуда следует, что

$$\theta_i v'(e_i) = \lambda_i = \mu/\alpha, \quad (2)$$

$$c'(X_i) = \mu \delta_{i+1}/\alpha. \quad (3)$$

Это означает, что эффективные траектории загрязнения и регулирования должны удовлетворять следующим условиям:

$$\begin{aligned} \theta_i v'(e_i) &= c'(X_i)/\delta_{i+1}, \\ c'(X_i)/\delta_{i+1} &= c'(X_j)/\delta_{j+1}. \end{aligned}$$

Первое уравнение говорит о том, что предельная выгода от экстерналий должна быть равна предельным издержкам для общества, т. е. каждый рубль, израсходованный на очистку воды, должен приносить одинаковую полезность.

Второе уравнение показывает, что вдоль эффективной траектории предельный ущерб фактического загрязнения (т. е. нанесенный ущерб, скорректированный на коэффициент естественного природного регулирования) должен быть одинаков для всех населенных пунктов. Если рассмотреть два пункта

$i$  и  $j$  такие, что  $\delta_{i+1} > \delta_{j+1}$ , то в соответствии с этим условием находим, что  $c'(X_i)/c'(X_j) = \delta_{i+1}/\delta_{j+1} > 1$  или  $c'(X_i) > c'(X_j)$ , откуда в силу возрастания предельного ущерба имеем  $X_i > X_j$ . Таким образом, при наличии более эффективного природного регулирования в пункте  $i$  по сравнению с пунктом  $j$  эффективная величина загрязнения в пункте  $i$  оказывается более высокой.

### Анализ сравнительной статистики

Исследуем влияние экзогенных параметров модели, таких как коэффициент природного регулирования, бюджет природоохранной деятельности и оценка водных ресурсов, на характеристики эффективного распределения.

В целях упрощения последующего анализа преобразуем приведенные выше соотношения для характеристик эффективного распределения. Выразив из ограничения задачи расходы на ликвидацию последствий загрязнения для населенного пункта  $i$ , найдем

$$\alpha m_i = (1 - \delta_i)X_{i-1} - X_i + e_i.$$

Просуммируем  $i$  по всем от 1 до  $N$ :

$$\begin{aligned} \alpha \sum_{i=1}^N m_i &= \sum_{i=1}^N (1 - \delta_i)X_{i-1} - \sum_{i=1}^N X_i + \sum_{i=1}^N e_i = (1 - \delta_1)X_0 - X_N - \sum_{i=1}^N \delta_{i+1}X_i + \sum_{i=1}^N e_i = \\ &= (1 - \delta_1)X_0 - \sum_{i=1}^N \delta_{i+1}X_i + \sum_{i=1}^N e_i. \end{aligned}$$

Поскольку эффективная траектория соответствует полному расходованию бюджета природоохранной деятельности, то

$$(1 - \delta_1)X_0 - \sum_{i=1}^N \delta_{i+1}X_i + \sum_{i=1}^N e_i = \alpha M. \quad (4)$$

Итак, эффективное распределение описывается условиями (2)–(4).

### Бюджет природоохранной деятельности

Рассмотрим, как изменение бюджета природоохранной деятельности повлияет на водопотребление и уровень загрязнения.

Несложно убедиться в том, что увеличение бюджета приведет к снижению теневой оценки расходов на природоохранную деятельность, т. е. к падению множителя  $\mu$ . Предположим, что это не так и  $\Delta\mu \geq 0$ . Тогда в силу убывания предельной полезности водопотребления из условия (2) следует, что  $\Delta e_i \leq 0$  для всех  $i$ . В силу возрастания предельного ущерба из соотношения (3) заключаем, что  $\Delta X_i \geq 0$  для всех  $i \geq 1$ . Таким образом, левая часть соотношения (4) упадет, поскольку

$$-\sum_{i=1}^N \delta_{i+1} \Delta X_i + \sum_{i=1}^N \Delta e_i < 0,$$

а величина  $X_0$  является экзогенной. В результате равенство (4) будет нарушено, так как левая часть сократилась, в то время как правая возросла. Полученное противоречие доказывает, что  $\Delta\mu < 0$ .

В результате, согласно условиям (2) и (3), с учетом убывания предельной полезности и возрастания предельного ущерба находим, что  $\Delta e_i > 0$  и  $\Delta X_i < 0$ . Таким

образом, с одной стороны растет водопотребление и, соответственно, объем загрязненных стоков в каждом населенном пункте, но при этом совокупный объем загрязнения оказывается меньшим за счет увеличения расходов на очистку воды.

### Коэффициент природного регулирования

Обратимся к исследованию роли коэффициентов природного регулирования. Пусть в силу каких-то условий в пункте  $j$  снизилась эффективность естественного природного регулирования, т. е. упал коэффициент  $\delta_j$ . Если бы при этом уровень загрязнения в пункте  $j - 1$  оказался бы равным нулю, то изменение эффективности природного регулирования между пунктами  $j - 1$  и  $j$  никак не сказалось бы на характеристиках эффективного распределения, поскольку на входе в пункт  $j$  уровень загрязнения оставался бы нулевым. Рассмотрим случай, когда  $X_{j-1} > 0$ .

Снижение роли природного регулирования повышает теневую оценку бюджета природоохранной деятельности, т. е. приводит к росту  $\mu$ . От противного, пусть  $d\mu \leq 0$ . Тогда с учетом убывания предельной полезности водопотребления условие (2) влечет  $de_i \geq 0$  для всех  $i$ . В силу возрастания предельного ущерба из соотношения (3) заключаем, что  $dX_i \leq 0$  для всех  $i \geq 1$ , в том числе и для  $i = j - 1$ . Таким образом, левая часть соотношения (4) увеличивается, в то время как бюджет природоохранной деятельности остается неизменным:

$$-d\delta_j X_{j-1} - \sum_{i=1}^N \delta_{i+1} dX_i + \sum_{i=1}^N de_i > 0 = \alpha dM.$$

Найденное противоречие доказывает, что  $d\mu > 0$ .

Тогда из соотношений (2) и (3) с учетом убывания предельной полезности и возрастания предельного ущерба заключаем, что  $de_i < 0$  для всех  $i$  и  $dX_i > 0$  для всех  $i \neq j - 1$ . Это означает, что снижение эффективности природного регулирования потребует сокращения водопотребления для того, чтобы частично компенсировать рост уровня загрязнения, явившийся последствием ухудшения природного регулирования, за счет сокращения объемов загрязненных стоков.

Заметим, что уровень загрязнения в пункте  $j - 1$  может измениться неоднозначно, поскольку, с одной стороны, снижается эффективность природного регулирования, что требует сокращения уровня загрязнения  $X_{j-1}$ , а с другой стороны — растет теневая оценка природоохранного бюджета, что повышает издержки от сокращения загрязнения, тем самым увеличивая значение  $X_{j-1}$ .

### Оценка ущерба от загрязнения

Наконец, проанализируем влияние субъективных предпочтений агентов. Коэффициент  $\theta$  отражает относительную ценность водопотребления и ущерба от загрязнения воды. Большее значение  $\theta$  соответствует более низкой оценке ущерба от загрязнения, т. е. фактически данный коэффициент характеризует отношение к природоохранной деятельности.

Рассмотрим ситуацию с увеличением  $\theta_j$ . Как будет показано ниже, снижение оценки ущерба от загрязнения повлечет увеличение объема сбрасываемых загрязненных сточных вод в пункте  $j$ . При этом возрастет и уровень загрязнения. Однако объем сбрасываемых стоков в других пунктах, напротив, сократится в силу повышения теневой цены природоохранного бюджета.

Начнем анализ с изменения величины  $\mu$ . Предположим, что  $d\mu \leq 0$ . Тогда с учетом увеличения  $\theta_j$  и убывания предельной полезности водопотребления из

условия (2) следует, что  $\Delta e_j > 0$ . В то же время для остальных населенных пунктов при неизменном  $\theta_i$  имеем для всех  $\Delta e_i > 0$ .

В силу возрастания  $c'(X_i)$  из (3) заключаем, что  $\Delta X_i \leq 0$  для всех  $i \geq 1$ . Таким образом, левая часть соотношения (4) увеличивается при неизменной правой части, что приводит к противоречию:

$$-\sum_{i=1}^N \delta_{i+1} \Delta X_i + \sum_{i=1}^N \Delta e_i > 0 = \alpha \Delta M.$$

Выявленное противоречие доказывает, что  $\Delta \mu > 0$ .

Тогда из соотношений (2) и (3) с учетом убывания предельной полезности и возрастания предельного ущерба заключаем, что  $\Delta e_i < 0$  для всех  $i \neq j$  и  $\Delta X_i > 0$  для всех  $i$ . Наконец, из условия (4) найдем изменение объема стоков в пункте  $j$ :

$$\Delta e_j = \sum_{i=1}^N \delta_{i+1} \Delta X_i - \sum_{i \neq j} \Delta e_i > 0,$$

т. е. объем сброса загрязненных стоков в пункте  $j$  возрастет.

### Анализ децентрализованного регулирования

Рассмотрим, как будет меняться уровень загрязнения в случае децентрализации природоохранного бюджета. Предположим, что бюджет будет разделен на две части: одна будет распределяться между населенными пунктами  $i = 1, 2, \dots, K$ , расположенными вверх по течению реки, а вторая часть — между пунктами  $i = K + 1, K + 2, \dots, M$ , находящимися вниз по течению. Более того, будем предполагать, что бюджет поделен в соответствии с эффективными объемами финансирования, полученными для данного региона. Обозначим через  $\{\tilde{m}_i\}_{i=1}^N$  объемы финансирования очистки водных ресурсов, полученные для данного региона при решении задачи (1). Аналогично через  $\{\tilde{X}_i\}_{i=1}^N$  обозначим эффективные уровни загрязнения.

Рассмотрим децентрализацию финансирования природоохранной деятельности. В частности, предположим, что при разделении бюджета на две части, одна из которых идет на финансирование очистки реки в пунктах  $i = 1, 2, \dots, K$ , а вторая — на очистку воды в остальных населенных пунктах, выделяемые суммы в точности равны тем, которые в совокупности данные пункты имели до разделения. Таким образом, на финансирование природоохранной деятельности в верхнем течении реки будет выделена сумма, равная  $M - \sum_{i=K+1}^N \tilde{m}_i$ . Покажем, что в новых условиях уровень загрязнения в пограничном пункте  $K$  превысит эффективный уровень  $\tilde{X}_K$ , который имел место до того, как произошла децентрализация.

После децентрализации уровни загрязнения и распределение бюджетных средств на очистку реки для области, располагающейся вверх по течению, найдутся из решения задачи:

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^K (\theta_i v(e_i) - c(X_i)), \\ & X_i = (1 - \delta_i) X_{i-1} + e_i - \alpha m_i, \\ & \sum_{i=1}^K m_i \leq M - \sum_{i=K+1}^N \tilde{m}_i, \\ & X_0 - \text{задано.} \end{aligned} \quad (5)$$

Просуммировав все ограничения на динамику загрязнения, находим, что

$$\alpha \sum_{i=1}^K m_i = (1 - \delta_1)X_0 - X_K - \sum_{i=1}^{K-1} \delta_{i+1}X_i + \sum_{i=1}^N e_i = \alpha(M - \sum_{i=K+1}^N \tilde{m}_i). \quad (6)$$

Обозначим решения задачи (5) звездочками. Покажем, что  $\mu^* < \tilde{\mu}$ . От противного, пусть  $\mu^* \geq \tilde{\mu}$ . Тогда в силу убывания предельной полезности водопотребления из условия (2) следует, что  $e_i^* \leq \tilde{e}_i$  для всех  $i = 1, 2, \dots, K$ . В силу возрастания  $c'(X_i)$  из соотношения (3) заключаем, что  $X_i^* \geq \tilde{X}_i$  для всех  $i = 1, 2, \dots, K-1$ . При этом для пограничного пункта  $K$  имеем  $c'(X_K^*) = \mu^* > \mu^* \delta_{K+1} \geq \tilde{\mu} \delta_{K+1} = c'(\tilde{X}_K)$ , откуда следует, что  $X_K^* \geq \tilde{X}_K$ . Таким образом,

$$\begin{aligned} \alpha \sum_{i=1}^K m_i^* &= (1 - \delta_1)X_0 - X_K^* - \sum_{i=1}^{K-1} \delta_{i+1}X_i^* + \sum_{i=1}^K e_i^* > \\ &> (1 - \delta_1)X_0 - \tilde{X}_K - \sum_{i=1}^{K-1} \delta_{i+1}\tilde{X}_i + \sum_{i=1}^K \tilde{e}_i = \alpha(M - \sum_{i=K+1}^N \tilde{m}_i), \end{aligned}$$

что противоречит условию (6). Полученное противоречие доказывает, что  $\mu^* < \tilde{\mu}$ , т. е. децентрализация приводит к падению теневой оценки природоохранного бюджета. В результате согласно соотношениям (2) и (3) находим, что уровень водопотребления в рассматриваемых населенных пунктах возрастет, что вызовет увеличение загрязненных стоков  $e_i^* > \tilde{e}_i$ , а уровень загрязнения во всех пунктах, кроме пограничного пункта  $K$ , напротив, снизится  $X_i^* < \tilde{X}_i$ . При этом уровень загрязнения в пограничном пункте  $K$  увеличится, поскольку

$$X_K^* - \tilde{X}_K = \sum_{i=1}^{K-1} \delta_{i+1}(\tilde{X}_i - X_i^*) + \sum_{i=1}^K (e_i^* - \tilde{e}_i)e_i > 0.$$

Итак, децентрализация неизбежно увеличит уровень загрязнения вблизи границы района, однако при этом снизится уровень загрязнения вверх по течению реки. Это произойдет за счет перераспределения природоохранного бюджета в пользу населенных пунктов, находящихся дальше от границы.

### Заключение

В данной работе построена и исследована модель распределения природоохранного бюджета между населенными пунктами одного бассейнового округа. Анализ показал, что уровень загрязнения растет при сокращении природоохранного бюджета, снижении эффективности естественного природного регулирования и при снижении субъективной оценки ущерба от загрязнения для некоторого населенного пункта. Следует отметить, что даже при изменении в эффективности природного регулирования и (или) субъективной оценке ущерба лишь в одном населенном пункте уровень загрязнения растет как в пунктах, находящихся вниз по течению, так и в пунктах, находящихся вверх по течению, что связано с соответствующим перераспределением расходов природоохранного бюджета.

Анализ последствий децентрализации показал, что при эффективном разделении бюджета между двумя частями единого прежде региона уровень загрязнения в пограничном пункте оказывается выше оптимального. Таким образом, для сохранения эффективности децентрализация должна сопровождаться некими целевыми программами очистки воды в пограничных пунктах.

---

**Источники**

*Lipscomb M., Mobarak A.* Decentralization and Water Pollution Spillovers: Evidence from the Redrawing of County Boundaries in Brazil // IPC Working paper Series. 2007. N 67.

*List J., Mason Ch.* Optimal Institutional Arrangements for Transboundary Pollutants in a Second-best World: Evidence from a Differential Game with Asymmetric Players // Journal of Environmental Economics and Management. 2001. Vol. 42. P. 277—296.

*Sigman H.* Transboundary Spillovers and Decentralization of Environmental Policies // Journal of Environmental Economics and Management. 2005. Vol. 50. N 1. P. 82—101.

*Oats W. E., Schwab R. M.* Economic Competition among Jurisdictions: Efficiency-Enhancing or Distortion-Inducing? // Journal of Public Economics. 1988. Vol. 35. P. 333—354.