

Эффективность децентрализации при несовершенной оценке загрязнения¹

Фридман А.А.

В статье рассматривается влияние несовершенства измерения качества стоков поверхностных вод на уровень загрязнения и распределение природоохранного бюджета в рамках одного бассейнового округа. Исследование базируется на модели частичного равновесия с накапливаемым внешним воздействием с учетом механизма естественной природной абсорбции. Проанализировано влияние степени искажения информации о качестве стоков на уровень загрязнения и общественное благосостояние. Показано, что в рамках рассматриваемой модели децентрализация, сопровождающаяся улучшением мониторинга, может приводить к снижению общественных потерь. Однако даже в том случае, когда децентрализация сопровождается полным устранением искажений в оценке качества стоков, распределение ресурсов остается неэффективным.

Ключевые слова: качество воды; потери в благосостоянии; искажения в оценке загрязнения; децентрализация.

Введение

Государственная политика в области охраны окружающей среды включает установление стандартов качества воды, а также мониторинг качества воды. Реализация этой политики может быть сопряжена с разным уровнем децентрализации природоохранной деятельности. Вопрос об оптимальном уровне децентрализации не имеет простого и однозначного решения. С одной стороны, децентрализация позволяет учесть дифференциацию в предпочтениях агентов, а потому влечет рост общественного благосостояния.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке факультета экономики Государственного университета – Высшей школы экономики (индивидуальный исследовательский проект «Качество водных ресурсов и распределение природоохранного бюджета», 2009).

Автор выражает признательность Э.Б. Ершову и В.А. Бессонову за полезные замечания и предложения.

Фридман А.А. – к.э.н., доцент кафедры микроэкономического анализа Государственного университета – Высшей школы экономики, e-mail: alla_friedman@hotmail.com

Статья поступила в Редакцию в январе 2010 г.

С другой стороны, каждая юрисдикция принимает во внимание лишь свои собственные выгоды и потери, а потому при наличии внешних эффектов, которые возникают при загрязнении водных ресурсов, децентрализованный подход приводит к недооценке потерь от загрязнения и выгод от природоохранных мероприятий. Исследуя этот вопрос применительно к водным ресурсам, Лист и Мейсон [7] на основе анализа игровой модели с накапливаемым загрязнением при асимметрии информации показали, что децентрализованный подход оказывается предпочтительным в случае, когда имеет место значительная неоднородность агентов и при этом первоначальный уровень загрязнения невелик. Следует отметить, что выводы базируются на достаточно ограничительных предпосылках: рассматривается квадратичная функция полезности, ущерб от загрязнения также описывается квадратичной функцией, а анализ ограничивается случаем двух регионов.

Принимая во внимание эти два аспекта, природоохранные решения следует делегировать юрисдикции, в пределах которой имеют место все выгоды и потери от данного решения. В терминах водных ресурсов размеры подобной юрисдикции в большинстве случаев будут соответствовать бассейновому округу.

Однако реализация данного принципа затруднена в силу несоответствия между административным делением и бассейновыми округами, которое имеет место во многих странах. Например, в России в настоящее время насчитывается 83 субъекта федерации, но при этом водная система России в соответствии со статьей 28 водного кодекса подразделяется на 20 бассейновых округов.

Кроме того, данный принцип оказывается несовершенным и с теоретической точки зрения. Как показывают многочисленные исследования, конкуренция между юрисдикциями за привлечение мобильного капитала при определенных условиях может приводить к занижению природоохранных стандартов и/или слишком низкому объему инвестиций в природоохранную деятельность [9, 12].

Например, в работе [5] рассматривается теоретико-игровая модель, где юрисдикции выбирают уровни инвестиций в охрану окружающей среды и при этом конкурируют между собой, привлекая фирмы, которых в регионе конечное число. Больше количество фирм, с одной стороны, увеличивает благосостояние региона, а с другой стороны, приводит к большему загрязнению, которое может быть нейтрализовано за счет природоохранных инвестиций. Показано, что при увеличении количества юрисдикций, конкурирующих за данное число фирм (сверх некоторого порогового значения), природоохранные инвестиции будут ниже оптимального уровня.

Если муниципалитеты преследуют свои собственные цели, например, максимизируют бюджет, то конкуренция между муниципалитетами за мобильный капитал (для увеличения налогооблагаемой базы) может приводить к установлению слишком мягких природоохранных стандартов [9].

Фредериксон и Гастон [2] на основе двухшаговой некооперативной игры показывают, что решение вопроса об оптимальном уровне децентрализации тесно связано с наличием лоббистских группировок. В работе представлена игровая модель, где на первом шаге лоббирующая группа (собственники капитала или работники) предлагают правительству платежи как функцию от принимаемых природоохранных решений, а затем правительство выбирает природоохранные стандарты. Анализ показывает, что при наличии лоббирования природоохранные стандарты могут совпадать при централизованном и децентрализованном принятии решений. Причина в том, что при децентрализации собственникам капитала нет смысла тратить усилия на лоббирование низких природоохранных стандартов, поскольку капитал может просто выбирать

юрисдикцию с низкими стандартами. В этих условиях лоббировать низкие стандарты будут работники данной юрисдикции, заинтересованные в привлечении капитала. В случае централизованного принятия решений все юрисдикции следуют одинаковым природоохранным нормам, а потому у работников нет стимула лоббировать природоохранные решения. Однако в условиях централизации подобные стимулы появляются у собственников капитала.

Отсутствие определенного вывода об оптимальном уровне децентрализации природоохранных решений в рамках теоретических моделей создавало стимул к эмпирическому исследованию данного вопроса. Однако эти исследования также порой приходят к противоположным выводам.

Липскомб и Мобарак [6] исследовали влияние изменения границ округов в Бразилии на уровень загрязнения. Работа базируется на микроданных по уровню загрязнения проб воды, взятых вверх и вниз по течению. Помесячные измерения доступны более чем по 300 станциям за период, в течение которого четыре раза изменялись границы округов. Авторы приходят к выводу, что уровень загрязнения монотонно увеличивается по мере приближения к границе округа (вниз по течению), а затем в районе пяти километров от границы происходит скачкообразный рост уровня загрязнения на 18,6%. Однако, как отмечают авторы, даже при наличии этого отрицательного внешнего воздействия совокупный эффект от децентрализации (т.е. от наличия дополнительной границы) оказывается практически нулевым. В Бразилии каждый округ помимо налогов, собираемых в нем, получает в свой бюджет трансферты от центра. В результате суммарный бюджет маленьких округов превосходит бюджет первоначального округа (до разделения). Исследование, в частности, показало, что после разделения округов расходы на канализацию возросли на 20%. В итоге прирост природоохранного бюджета компенсировал потери от роста приграничного загрязнения.

Гарсия-Валинас [4] проанализировала проблему децентрализации на примере Испании. В отличие от множества других эмпирических работ, где основное внимание уделяется влиянию децентрализации на уровень загрязнения, автор концентрирует внимание на уровне благосостояния. На основе панельных данных по 17 регионам Испании за период с 1996 по 2001 г. были оценены коэффициенты линейной трансформационной функции, связывающей уровень загрязнения региона с объемом потребления. Затем на основе полученной зависимости построена симуляционная модель благосостояния регионов. Полученные выводы свидетельствуют в пользу децентрализованного подхода при значительной дифференциации потребителей. В ситуации, когда потребители относительно однородны, а издержки централизованного управления не очень велики, напротив, общественное благосостояние оказывается выше в случае централизованного подхода.

Вопрос об оптимальном уровне децентрализации природоохранной деятельности в развивающихся странах рассматривается в работе Фредриксона, Мани и Волшейда [3]. Авторы рассматривают игровую модель экономики с двумя регионами, где на качество окружающей среды влияет не только уровень, на котором принимаются решения о регулировании, но и сила лоббистских групп. Теоретический анализ прогнозирует более мягкие нормативы природного регулирования в условиях децентрализации. Модель тестировалась на данных Всемирного банка по 90 развивающимся странам. Результаты показывают, что децентрализация в условиях сильных лоббистских группировок ухудшает качество природного регулирования.

Политика в области охраны водных ресурсов в большинстве развитых стран базируется на комбинации двух инструментов: предельно допустимых объемов сброса загрязняющих веществ и стандартов качества воды. Плюсы и минусы каждого из этих инструментов подробно рассмотрены в работе [11]. Лимиты обычно устанавливаются применительно к определенным отраслям экономики и являются едиными для всех субъектов данной отрасли. Это означает, что особенности водного объекта и, в частности, абсорбирующие возможности естественного природного регулирования в данном случае не принимаются во внимание. Второй инструмент контроля предусматривает стандарты качества воды, определяющие пороговые уровни загрязнения по определенным веществам, не вызывающие негативных последствий для природных объектов. Эти стандарты, как правило, устанавливаются с учетом абсорбирующей способности водного объекта.

Однако осуществление эффективной природоохранной политики, основанной на комбинации этих инструментов, возможно лишь при наличии достоверной информации о качестве водных ресурсов. Многие объекты хозяйственной деятельности помимо стандартных для отрасли загрязнителей содержат в сбрасываемых сточных водах и специфические для данного предприятия загрязняющие вещества. Выявление этих веществ несложно при наличии информации о виде специфического загрязнения. Однако данная информация является частной и вряд ли будет доступна при централизованном регулировании. Поскольку тотальная проверка проб воды на все возможные загрязнители связана с очень высокими издержками, то при централизованном мониторинге может иметь место недооценка уровня загрязнения воды. Таким образом, децентрализация природоохранных решений позволяет не только учесть различия в предпочтениях (что традиционно преподносится в качестве основной выгоды от децентрализации), но и снизить потери, возникающие при несовершенстве информации относительно качества водных ресурсов.

Цель данного исследования – провести модельный анализ последствий децентрализации, сопровождаемой снижением искажения информации о качестве сбрасываемых в поверхностные воды стоков. В следующем разделе предложена стилизованная модель бассейнового округа, в рамках которой исследуется вопрос децентрализации природоохранной деятельности. В модели рассматриваются последствия децентрализации при неизменном объеме очистных сооружений, т.е. не принимается во внимание возможность инвестиций и ввода в действие новых объектов, что могло бы существенно повысить производительность природоохранных мероприятий. Это объясняется двумя обстоятельствами. Во-первых, текущие расходы на очистку водных ресурсов более чем в 3^2 раза превышают инвестиционные расходы и, таким образом, составляют львиную долю расходов природоохранного бюджета. Во-вторых, строительство и ввод в действие новых очистных сооружений требует не только значительных инвестиций, но существенных временных затрат. С этой точки зрения приведенная ниже модель охватывает лишь краткосрочные последствия децентрализации.

Прообразом предложенной в данной статье модели можно считать модель, рассмотренную в работе Листа и Мейсона [7]. Однако предлагаемая модель содержит как технические, так и качественные отличия. С технической точки зрения предлагаемая модель включает не две, а произвольное конечное число юрисдикций. Сохраняя идею об аддитивно сепарабельной функции полезности, в данной работе предъязы-

² См. табл. 2.2 и 2.7 в статистическом сборнике «Охрана окружающей среды в России» [1].

ляются довольно общие требования к виду функции ущерба от накопленного загрязнения и выигрыша от водопотребления, в то время как в исследовании [7] рассматриваются конкретные (квадратичные) спецификации данных функций. С содержательной точки зрения работа [7] посвящена моделированию накапливаемых во времени, а не в пространстве внешних эффектов, что справедливо применительно к загрязнению атмосферы. В данной статье, напротив, рассматривается динамика загрязнения в пространственном аспекте, специфичная именно для водных ресурсов. Наконец, в модели Листа и Мейсона отсутствует возможность нейтрализации негативного воздействия загрязнения за счет природоохранных инвестиций.

Модель управления водными ресурсами

Пусть бассейновый округ включает N населенных пунктов, рассредоточенных вдоль одной реки. В каждом населенном пункте используемая вода затем обратно возвращается в реку, но при этом стоки оказываются загрязненными специфически для данного пункта веществами. Будем считать, что река обладает естественными природным механизмом абсорбции загрязнения, причем эти возможности тем выше, чем больше расстояние между двумя источниками загрязнения. Власти могут направлять дополнительные средства на очистку водных ресурсов в рамках природоохранного бюджета региона.

Обозначим уровень загрязнения воды в пункте i через X_i , а коэффициент естественного природного регулирования между пунктами $i-1$ и i через δ_i ($0 < \delta_i < 1$), тогда абсорбция загрязнения на участке реки между пунктами $i-1$ и i составит $\delta_i X_{i-1}$. Пусть стоки в пункте i приводят к дополнительному загрязнению e_i , а расходы на очистку вод из природоохранного бюджета региона составляют m_i . Заметим, что, как было указано выше, в модели не рассматриваются расходы на строительство новых очистных сооружений, а потому m_i отражает лишь текущие природоохранные расходы. Будем считать, что предельная производительность текущей природоохранной деятельности постоянна, т.е. каждый дополнительный рубль, потраченный на очистку вод, сокращает загрязнение на величину $\alpha > 0$ ³, тогда динамика уровня загрязнения в пункте i представима следующим уравнением:

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

причем начальный уровень загрязнения, X_0 , рассматривается как экзогенная величина. Эта величина, в свою очередь, зависит как от природных условий, так и от решений, принимаемых другими регионами, находящимися вверх по течению, или для пограничного региона – от решений, принимаемых другими государствами. В послед-

³ Эта предпосылка, несомненно, является упрощающей. В действительности зависимость может иметь нелинейный вид и определяется спецификой загрязнения и методов очистки. Однако с учетом того, что специфика загрязнения влияет лишь на выбор химических реагентов, расходы на которые в общих затратах на очистку сточных вод невелики (в пределах 10%), в данной модели коэффициент α предполагается неизменным для всех населенных пунктов.

нем случае величина X_0 может определяться в рамках межправительственных договоров в области охраны окружающей среды, анализ которых выходит за рамки данного исследования.

Предполагая, что бюджет региона на очистку сточных вод фиксирован и равен M , мы получаем дополнительное ограничение на распределение этих средств

$$(2) \quad \sum_{i=1}^N m_i \leq M.$$

Будем считать, что благосостояние региона может быть представлено как сумма полезностей входящих в него населенных пунктов, причем полезность пункта i положительно зависит от уровня водопотребления и отрицательно от накопленного загрязнения воды: $u_i(e_i, X_i) = \theta_i v(e_i) - c(X_i)$, где $v'_e > 0$, $v''_e < 0$, $c'_e > 0$, $c''_e > 0$ и $\theta_i > 0$. Заметим, что в модели не введен показатель уровня водопотребления явным образом, но предполагается, что больший объем водопотребления порождает больший объем загрязненных стоков (e), а потому полезность возрастает по e^4 . Параметр θ_i отражает экологические предпочтения населения: чем больше θ , тем лояльнее население относится к загрязнению. Таким образом, в модели предполагается, что предпочтения потребителей разных населенных пунктов идентичны за исключением их отношения к экологии.

Итак, эффективное распределение для данного региона является решением следующей задачи:

$$(3) \quad \begin{aligned} & \max \sum_i (\theta_i v(e_i) - c(X_i)), \\ & X_i = (1 - \delta_i) X_{i-1} + e_i - \alpha m_i, \\ & \sum_i m_i \leq M, \\ & X_0 \text{ задано.} \end{aligned}$$

Заметим, что вследствие строгой вогнутости целевой функции (в силу наложенных предпосылок на знаки вторых производных) и выпуклости допустимого множества решение задачи (1) единственно.

Модель с несовершенной информацией о качестве стоков

До сих пор мы считали, что планирующий орган обладает информацией о специфике загрязнителей в сбрасываемых стоках и в результате может получить точную оценку загрязнения, создаваемого в каждом населенном пункте. В действи-

⁴ Частный случай подобной спецификации функции полезности рассмотрен в работе [7, р. 280, 282], где использовались следующие спецификации функции ущерба: $c(X) = \gamma X^2$ и $v(e) = ae - e^2$.

тельности это не всегда так. Для точного определения уровня загрязнения необходимо либо проверять эти стоки на все возможные загрязнители (что является достаточно дорогостоящим исследованием в силу большого разнообразия возможных загрязнителей), либо владеть информацией о специфических загрязнителях для данного населенного пункта и, соответственно, контролировать присутствие именно этих веществ в воде. Выходом из ситуации является выделение некоторого количества универсальных показателей, которые контролируются во всех пробах воды при наличии дополнительного списка, из которого выбирается несколько дополнительных тестов, специфичных для данной юрисдикции.

При абсолютной децентрализации, т.е. при наличии лишь одного населенного пункта в юрисдикции, выбор тестов был бы специфичен для каждого населенного пункта. Кроме того, местные власти, обладая более полной информацией о хозяйствующих субъектах и природных условиях, могли бы выбрать именно те тесты, которые позволили бы отслеживать концентрацию специфичных для района загрязнителей. При разделении бассейнового округа на несколько юрисдикций, в каждой из которых находится несколько населенных пунктов, информация о специфике загрязнения в этих пунктах не будет полной. Тем не менее выбранный список дополнительных тестов будет приближен к особенностям данной юрисдикции, а потому степень искажения информации снизится по сравнению со случаем централизации. Для анализа описанного феномена необходимо модифицировать первоначальную модель бассейнового округа, внося в нее поправки на искажение информации о качестве воды в сбрасываемых стоках.

Итак, пусть, как и ранее, e_i – фактический уровень загрязнения стоков в пункте i , а $\beta_i e_i$ – измеренный уровень, на который ориентируется планирующий орган при принятии решений, причем $0 < \beta_i < 1$ ⁵. Согласно введенным ранее допущениям коэффициент искажения информации β_i является убывающей функцией уровня централизации экологического контроля, в качестве которого в модели выступает количество подконтрольных населенных пунктов. Поскольку планирующий орган будет иметь искаженную информацию о загрязнении сбрасываемых стоков, то, как следствие, будет искажена и информация о накопленном загрязнении, что отражено в первом ограничении задачи (4). Кроме того, поскольку загрязнение рассматривается как побочный продукт водопотребления, то искаженная информация о загрязнении приведет к искажению оценки выгоды от водопотребления, что отражено в целевой функции задачи (4).

В новых условиях задача органа, планирующего распределение бюджетных средств на очистку водных ресурсов, примет вид

⁵ Ситуация полного искажения информации ($\beta_i = 0$) не может быть рассмотрена в рамках модели (4), поскольку в этом случае задача (4) имеет множество решений в терминах e_i в связи с тем, что дополнительное загрязнение в этом случае никак не выявляется, а потому не может служить индикатором водопотребления.

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

Заметим, что в централизованной модели может также иметь место несовершенство информации в отношении экологических предпочтений населения (т.е. коэффициентов θ). В этом случае децентрализация повлечет также уточнение этих параметров. Данный аспект в рамках похожей модели исследован в работе [7]. Еще одной специфической характеристикой в модели являются коэффициенты естественного природного регулирования δ_i . Однако эти коэффициенты могут быть оценены на основе общеизвестной информации о местоположении населенных пунктов и биологических и геологических характеристиках водного объекта. Таким образом, в последующем анализе предполагается, что децентрализация повлечет лишь снижение степени искажения информации о загрязнении стоков и никак не отразится на других экзогенных характеристиках модели.

Поскольку планируемые уровни загрязнения стоков, а значит, и накопленные уровни загрязнения в силу искажения информации будут отличаться от фактических, то для исследования последствий этих искажений необходимо на основе планируемых значений (выбранных как решение задачи (4)) и экзогенно задаваемых коэффициентов искажения информации β перейти к фактическим значениям. Затем фактические значения сопоставим с эффективными, полученными как решение задачи (3).

Обозначим через $\{\tilde{e}_i, \tilde{X}_i, \tilde{m}_i\}_{i=1}^N$ решение задачи (3). Сопоставляя задачи (4) и (3), несложно заметить, что $\{\tilde{e}_i / \beta_i, \tilde{X}_i, \tilde{m}_i\}_{i=1}^N$ будет являться решением задачи (4). Однако решение задачи (4) показывает лишь планируемые уровни загрязнения, которые будут отличаться от фактических значений в силу искажения информации о загрязнении. Ниже показано, что фактические уровни загрязнения будут превышать эффективные значения.

Утверждение 1.

В рассматриваемой модели с несовершенством мониторинга качества стоков для всех $i \geq 1$ имеем

$$(1) e_i^{\text{факт}} > \tilde{e}_i \text{ если } \beta_i < 1 \text{ и } e_i^{\text{факт}} = \tilde{e}_i \text{ при } \beta_i = 1;$$

(2) $X_i^{\text{факт}} > \tilde{X}_i$, если $\beta_j < 1$ хотя бы для одного $j \leq i$ и $X_i^{\text{факт}} = \tilde{X}_i$ в противном случае.

Доказательство.

(1) Поскольку $\{\tilde{e}_i / \beta_i, \tilde{X}_i, \tilde{m}_i\}_{i=1}^N$ является решением задачи (4), то

$$e_i^{\text{факт}} = \tilde{e}_i / \beta_i > \tilde{e}_i,$$

если $\beta_i < 1$. Если искажения в данном пункте отсутствуют, т.е. $\beta_i = 1$, то

$$e_i^{\text{факт}} = \tilde{e}_i / \beta_i = \tilde{e}_i.$$

(2) Согласно уравнению динамики накопленного уровня загрязнения (1) имеем

$$X_i^{\text{факт}} - \tilde{X}_i = (1 - \delta_i)(X_{i-1}^{\text{факт}} - \tilde{X}_{i-1}) + (e_i^{\text{факт}} - \tilde{e}_i) + (m_i^{\text{факт}} - \tilde{m}_i).$$

Поскольку $\tilde{e}_i = e_i^{\text{факт}} \beta_i$ и $\tilde{m}_i = m_i^{\text{факт}}$, то полученное условие примет вид

$$X_i^{\text{факт}} - \tilde{X}_i = (1 - \delta_i)(X_{i-1}^{\text{факт}} - \tilde{X}_{i-1}) + e_i^{\text{факт}}(1 - \beta_i).$$

Решая полученное разностное уравнение при одинаковом уровне загрязнения в начальный момент, т.е. при $X_0^{\text{факт}} = X_0$, находим

$$(5) \quad X_i^{\text{факт}} - \tilde{X}_i = e_i^{\text{факт}}(1 - \beta_i) + \sum_{j=1}^{i-1} e_j^{\text{факт}}(1 - \beta_j) \prod_{k=j+1}^i (1 - \delta_k).$$

Таким образом, если $\beta_j < 1$ хотя бы для какого-то $j \leq i$, то из неравенства (5) следует, что $X_i^{\text{факт}} > \tilde{X}_i$. Если же во всех пунктах вверх по течению, включая i -й, искажений не было, т.е. $\beta_j = 1$ для всех $j \leq i$, то в соответствии с условием (5) находим, что $X_i^{\text{факт}} - \tilde{X}_i = 0$ или $X_i^{\text{факт}} = \tilde{X}_i$.

Согласно утверждению 1, несовершенство контроля качества стоков в пункте i ведет к избыточному водопотреблению в этом пункте, что увеличивает объем сбрасываемых стоков и ухудшает качество воды во всех пунктах, находящихся вниз по течению.

Следствие.

Несовершенство мониторинга качества стоков неизбежно приводит к потерям в эффективности.

Доказательство.

Поскольку любое эффективное распределение ресурсов должно приносить максимальный уровень общественного благосостояния, то это распределение является решением задачи (3). В силу строгой вогнутости целевой функции и выпуклости допустимого множества решение задачи (3) единственно. Однако, как показано в утверждении 1, при $\beta \neq (1, \dots, 1)$, т.е. при наличии несовершенства измерения качества стоков хотя бы в одном населенном пункте, фактические объемы сбросов и уровни загрязнения будут отличны от эффективных. С учетом единственности эффективной траектории это означает, что результирующий уровень общественного благосостояния будет ниже эффективного.

При полном устранении несовершенства мониторинга, как мы видели, общественное благосостояние растет. Однако это не означает, что при улучшении качества мониторинга, не приводящем к полному исчезновению искажений, благосостояние будет монотонно улучшаться.

Обозначим через $e^{\text{факт}}(\beta)$ и $X^{\text{факт}}(\beta)$ фактические значения стоков и загрязнения при качестве мониторинга β . Подставляя эти значения в функции полезности агентов, получим зависимость общественного благосостояния от качества мониторинга $W(\beta) \equiv \sum_j (\theta_j v(e_j^{\text{факт}}(\beta)) - c(X_j^{\text{факт}}(\beta)))$.

Проанализируем, как изменятся уровни загрязнения, объем водопотребления и общественное благосостояние при улучшении мониторинга в одном населенном пункте.

Утверждение 2.

Пусть в рассматриваемой модели $\beta_i < 1$. Тогда снижение искажений информации о качестве стоков в i -ом населенном пункте приведет к:

- (1) увеличению сбрасываемых стоков в пункте i и не повлияет на сбрасываемые стоки в других пунктах;
- (2) снижению уровня загрязнения в пункте i и во всех пунктах вниз по течению, но не повлияет на уровни загрязнения вверх по течению;
- (3) увеличению общественного благосостояния.

Доказательство.

(1) Поскольку параметры эффективной траектории не зависят от β и $e_j^{\text{факт}} = \tilde{e}_j / \beta_j$, то $\partial e_j^{\text{факт}} / \partial \beta_i = 0$ для всех $j \neq i$ и $\partial e_i^{\text{факт}} / \partial \beta_i = -\tilde{e}_i / (\beta_i)^2 < 0$.

(2) Из условия (5) находим $X_j^{\text{факт}} = \tilde{X}_j + \tilde{e}_j \left(\frac{1}{\beta_j} - 1 \right) + \sum_{l=1}^{j-1} \tilde{e}_l \left(\frac{1}{\beta_l} - 1 \right) \prod_{k=l+1}^j (1 - \delta_k)$,

откуда следует, что уровень загрязнения не изменится выше пункта i и снизится во всех остальных пунктах: $\partial X_j^{\text{факт}} / \partial \beta_i = 0$ при $j < i$, $\partial X_i^{\text{факт}} / \partial \beta_i = -\tilde{e}_i / (\beta_i)^2 < 0$ и

$\partial X_j^{\text{факт}} / \partial \beta_i = -\tilde{e}_i / (\beta_i)^2 \prod_{k=i+1}^j (1 - \delta_k) < 0$ для всех $j > i$.

(3) Продифференцировав функцию общественного благосостояния по β_i , найдем

$$(6) \quad W'_{\beta_i}(\beta) = \sum_j (\theta_j v'(e_j^{\text{факт}}) \partial e_j^{\text{факт}} / \partial \beta_i - c'(X_j^{\text{факт}}) \partial X_j^{\text{факт}} / \partial \beta_i).$$

Таким образом, с одной стороны, благосостояние падает в силу сокращения водопотребления в пункте i , но, с другой стороны, положительное влияние на уровень благосостояния оказывает снижение загрязнения во всех пунктах вниз по течению. Подставляя найденные значения производных в выражение (6), получим

$$W'_{\beta_i}(\beta) = \left(c'(X_i^{\text{факт}}) - \theta_i v'(e_i^{\text{факт}}) \right) \tilde{e}_i / (\beta_i)^2 + \tilde{e}_i / (\beta_i)^2 \sum_{j=i+1}^N c'(X_j^{\text{факт}}) \prod_{k=i+1}^j (1 - \delta_k).$$

Поскольку согласно утверждению (1) при несовершенстве мониторинга $X_i^{\text{факт}} > \tilde{X}_i$, то в силу возрастания предельных издержек имеем $c'(X_i^{\text{факт}}) > c'(\tilde{X}_i)$.

Тогда с учетом убывания v' находим

$$(7) \quad W'_{\beta_i}(\beta) = \left(c'(X_i^{\text{факт}}) - \theta_i v'(e_i^{\text{факт}}) + \sum_{j=i+1}^N c'(X_j^{\text{факт}}) \prod_{k=i+1}^j (1 - \delta_k) \right) > \\ > \tilde{e}_i / (\beta_i)^2 \cdot \left(c'(\tilde{X}_i) - \theta_i v'(\tilde{e}_i) + \sum_{j=i+1}^N c'(\tilde{X}_j) \prod_{k=i+1}^j (1 - \delta_k) \right).$$

Так как $(\tilde{e}_i, \tilde{X}_i)$ – параметры, соответствующие эффективной траектории, то они должны удовлетворять условиям первого порядка для задачи (3), т.е. $\theta_i v'(\tilde{e}_i) = c'(\tilde{X}_i) / \delta_{i+1}$ при $i < N$ и $\theta_i v'(\tilde{e}_i) = c'(\tilde{X}_i)$ для $i = N$. Таким образом, для конечного пункта имеем $c'(\tilde{X}_i) = \delta_{i+1} c'(\tilde{X}_N)$ для всех $i < N$. Для удобства будем считать $\delta_{N+1} = 1$, тогда последнее равенство справедливо и для $i = N$. Подставляя выражение для $c'(\tilde{X}_i)$ в неравенство (7), находим

$$W'_{\beta_i}(\beta) > \tilde{e}_i / (\beta_i)^2 \left(c'(\tilde{X}_i) - \theta_i v'(\tilde{e}_i) + \sum_{j=i+1}^N c'(\tilde{X}_j) \prod_{k=i+1}^j (1 - \delta_k) \right) = \\ = \tilde{e}_i / (\beta_i)^2 \left(c'(\tilde{X}_N) \left(\delta_{i+1} + \sum_{j=i+1}^N \delta_{i+1} \prod_{k=i+1}^j (1 - \delta_k) \right) - \theta_i v'(\tilde{e}_i) \right) = \\ = \tilde{e}_i / (\beta_i)^2 \left(c'(\tilde{X}_N) - \theta_i v'(\tilde{e}_i) \right) = 0.$$

Таким образом, $W'_{\beta_i}(\beta) > 0$.

Итак, как показано в утверждении 2, в рамках рассматриваемой модели улучшение мониторинга в одном из пунктов влечет два эффекта. С одной стороны, оно приводит к сокращению водопотребления в этом пункте, что отрицательно влияет на благосостояние региона, а с другой стороны, вызывает снижение загрязнения вниз по течению, что снижает потери от загрязнения, причем последний эффект оказывается доминирующим, и уровень благосостояния региона в целом возрастает.

Децентрализация и несовершенство оценки качества стоков

В условиях искажения информации о качестве стоков децентрализация влечет не только отрицательный эффект, связанный с игнорированием внешних воздействий

вдоль границ округа, но и положительный эффект, вызванный снижением уровня искажения информации о загрязнении, т.е. приводит к увеличению показателей β .

Сначала рассмотрим последствия децентрализации при эффективном разделении природоохранного бюджета при полной информации о качестве сбрасываемых в водный объект стоков, а затем исследуем, как изменятся полученные результаты, если принять во внимание, что децентрализация может сопровождаться снижением коэффициентов искажения информации о качестве водных ресурсов.

Утверждение 3.

Пусть в рассматриваемой модели в результате децентрализации регион разделен на две юрисдикции, верхнюю и нижнюю, причем пункт $K < N$ является последним пунктом верхней юрисдикции. Если децентрализация сопровождалась эффективным разделением природоохранного бюджета $M(K) = \sum_{i=1}^K \tilde{m}_i$, то в результате

- (1) возрастет объем сбрасываемых загрязненных стоков во всех населенных пунктах верхней юрисдикции;
- (2) уровень загрязнения во всех пунктах верхней юрисдикции, кроме пограничного, упадет, а загрязнение в пограничном пункте возрастет;
- (3) снизится общественное благосостояние региона в целом.

Доказательство.

Задача верхней юрисдикции, образовавшейся в результате децентрализации, является модификацией задачи (3) при $N = K$ и $M = M(K)$. Просуммировав ограничения задачи (3), находим

$$(8) \quad (1 - \delta_1)X_0 - X_N - \sum_{i=1}^{N-1} \delta_{i+1}X_i + \sum_{i=1}^N e_i = \alpha M.$$

Обозначим множитель Лагранжа для ограничения задачи региона, где имеется N юрисдикций, через $\mu(N)$, получим следующие условия первого порядка для внутреннего решения:

$$(9) \quad \theta_i v'(e_i) = \mu(N) / \alpha,$$

$$(10) \quad c'(X_i) = \begin{cases} \mu(N) \delta_{i+1} / \alpha, & 1 \leq i \leq N-1 \\ \mu(N) / \alpha, & i = N. \end{cases}$$

Покажем, что $\mu(K) < \mu(N)$. Если бы это было не так, и $\mu(K) \geq \mu(N)$, тогда из условий (9) и (10) в силу убывания $u'(\cdot)$ и возрастания $c'(\cdot)$ заключаем, что $e_i(K) \leq e_i(N)$ для всех $i = 1, 2, \dots, K$ и $X_i(K) \geq X_i(N)$ для всех $i = 1, 2, \dots, K$. При этом для пограничного пункта K последнее неравенство будет строгим, поскольку $\alpha c'(X_K(K)) = \mu(K) > \mu(K) \delta_{K+1} \geq \mu(N) \delta_{K+1} = \alpha c'(X_K(N))$, откуда следует, что $X_K(K) > X_K(N)$. Таким образом,

$$\begin{aligned} \alpha M(K) &= (1 - \delta_1) X_0 - X_K(K) - \sum_{i=1}^{K-1} \delta_{i+1} X_i(K) + \sum_{i=1}^K e_i(K) < \\ &< (1 - \delta_1) X_0 - X_K(N) - \sum_{i=1}^{K-1} \delta_{i+1} X_i(N) + \sum_{i=1}^K e_i(N) = \\ &= \alpha \left(M - \sum_{i=K+1}^N \tilde{m}_i \right) = \alpha \sum_{i=1}^K \tilde{m}_i, \end{aligned}$$

что противоречит условию $M(K) = \sum_{i=1}^K \tilde{m}_i$.

Итак, $\mu(K) < \mu(N)$, откуда из условия (9) с учетом убывания предельной полезности заключаем, что сброс загрязненных отходов возрастет во всех населенных пунктах рассматриваемой юрисдикции: $e_i(K) > e_i(N)$ для всех $i = 1, 2, \dots, K$.

Аналогично, с учетом возрастания предельных издержек загрязнения из (10) находим $X_i(K) < X_i(N)$ для $1 \leq i \leq K-1$. При этом качество воды в пограничном пункте K ухудшится:

$$X_K(K) = X_K(N) + \sum_{i=1}^{K-1} \delta_{i+1} (X_i(N) - X_i(K)) + \sum_{i=1}^K (e_i(K) - e_i(N)) > X_K(N).$$

Наконец, поскольку эффективная траектория в данной модели единственна, а уровни загрязнения при децентрализации будут отличны от эффективных, то в результате децентрализации снизится общественное благосостояние.

Проанализируем совокупный эффект от этих разнонаправленных процессов. Итак, как было показано ранее, искажение информации о загрязнении влечет повышение уровня водопотребления и, как следствие, увеличивает загрязнение в каждом населенном пункте по сравнению с эффективной величиной. Это означает, что, при прочих равных условиях, рост коэффициентов β влечет снижение сброса загрязненных стоков, что, в свою очередь, приводит к снижению уровня загрязнения воды во всех населенных пунктах. Однако до тех пор, пока искажения информации не устранены полностью, т.е. пока регулирование распространяется более чем на один населенный пункт, уровни загрязнения будут превышать эффективный.

При этом, как мы видели, данные изменения не коснутся распределения средств природоохранного бюджета, которое будет эффективным при любых значениях β .

С другой стороны, как следует из утверждения 3, децентрализация влечет увеличение сброса загрязненных стоков вверх по течению. С учетом существовавшего раньше превышения стоков относительно эффективных уровней это означает, что уровни водопотребления и, соответственно, сброса загрязненных стоков будут превышать эффективные значения.

Кроме того, децентрализация по-разному отражается на накопленных уровнях загрязнения воды, поскольку влечет перераспределение природоохранного бюджета в сторону населенных пунктов, находящихся выше по течению. Действительно, как

мы знаем из утверждения 3, уровни загрязнения во всех пунктах, кроме пограничного, упадут, а в пограничном пункте уровень загрязнения возрастет. Поскольку снижение степени искажения информации влекло падение накопленного уровня загрязнения для всех населенных пунктов, то децентрализация ускорит это снижение для всех пунктов, находящихся выше пограничного, причем не исключено падение уровней загрязнения ниже эффективных значений.

Для пограничного пункта децентрализация повлечет увеличение загрязнения, в то время как снижение уровня искажения информации даст обратный эффект. Таким образом, совокупный эффект оказывается неопределенным. Тем не менее можно сделать однозначный вывод о том, что уровень загрязнения в пограничном пункте и после децентрализации будет превышать эффективный. Действительно, даже если бы коэффициент β в результате децентрализации вырос до единицы (т.е. искажения были бы полностью устранены), то накопленный уровень загрязнения стал бы эффективным, а децентрализация снова привела бы к его повышению для пограничного пункта.

Итак, децентрализация по-прежнему не позволяет достичь эффективной траектории. Однако с учетом того, что при искажении информации исходная ситуация также являлась неэффективной, было бы интересно проанализировать, как изменилось благосостояние в результате децентрализации. Как мы видели, децентрализация при неизменном уровне искажений влечет ухудшение благосостояния, но снижение уровня искажений, напротив, приближает экономику к эффективной траектории, суммарный эффект зависит от того, как велик был первоначальный уровень искажений и как сильно сократились искажения в результате децентрализации.

Для того чтобы продемонстрировать неоднозначный эффект децентрализации на экономику при наличии эффекта снижения уровня искажений, рассмотрим следующий пример. Пусть все потребители идентичны, т.е. $\theta_i = 1$. Будем также считать, что абсорбирующая способность реки одинакова для всех населенных пунктов, т.е. $\delta_i = \delta$. Для простоты предположим, что уровень искажений одинаков для всех населенных пунктов $\beta_i = \beta$, а первоначальное значение коэффициента (до централизации) равно $\beta = 0,8$. Рассмотрим следующую спецификацию функции совокупного излишка: $v(e) = \ln(e)$, $c(X) = X^2$ и зафиксируем значения эндогенных параметров: $X_0 = 1$, $M = 7$, $N = 6$, $\alpha = 0,5$, $\delta = 0,5$.

При этих параметрах найдем величины общественного благосостояния для эффективной и фактической траекторий (отличие последней от эффективной связано с эффектом искажения уровня загрязнения). Далее рассмотрим децентрализацию, при которой регион разделяется на две равные по величине юрисдикции и найдем уровни общественного благосостояния при разных значениях коэффициента искажения β , величину которого будем постепенно увеличивать от первоначального значения $\beta = 0,8$ до $\beta = 1$, что соответствует отсутствию искажений. Результаты расчетов представлены графически на рис. 1 как процентные отклонения уровня благосостояния региона после децентрализации от первоначального (сплошная кривая) и от эффективного значения уровня благосостояния (пунктирная кривая).

В соответствии с доказанным выше результатом децентрализация не позволяет достичь эффективного уровня общественного благосостояния, в результате пунктирная

кривая целиком лежит в отрицательной области. Однако можно отметить, что снижение степени искажения информации позволяет сократить потери. При $\beta = 1$ мы наблюдаем величину потерь от децентрализации при отсутствии искажений в информации.

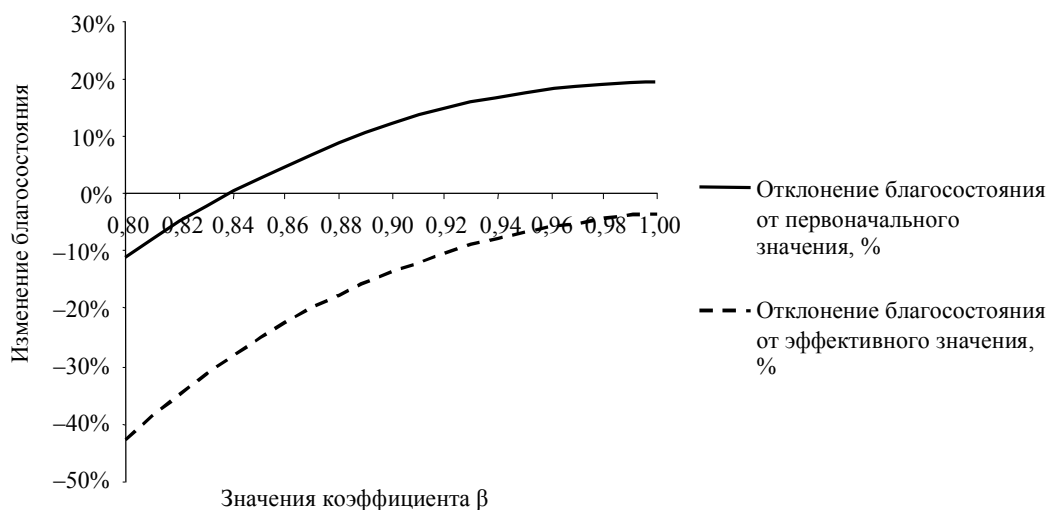


Рис. 1. Последствия децентрализации при снижении уровня искажения информации о загрязнении

Если сравнивать уровень благосостояния не с эффективным значением, а с первоначальным (до разделения региона), то децентрализация оказывает неоднозначное воздействие на изменение уровня благосостояния региона. Если она не сопровождается улучшением качества информации или эти изменения малы (при $\beta < 0,84$), то благосостояние падает, т.е. эффект от децентрализации оказывается отрицательным. При существенном снижении степени искажения (в нашем примере при увеличении коэффициента β более чем на четыре процентных пункта), напротив, совокупный эффект от децентрализации оказывается положительным.

Заключение

В работе построена модель бассейнового округа, в котором все населенные пункты расположены вдоль реки, воды которой они используют, а затем обратно в реку поступают загрязненные стоки. В модели учитывается эффект накопления стоков вниз по реке с поправкой на естественную природную абсорбцию. При этом имеется возможность очистки вод за счет природоохранной деятельности. В рамках построенной модели при некоторой спецификации функции общественного благосостояния и функции производительности природоохранных мероприятий рассмотрена задача оптимального распределения заданного природоохранного бюджета.

Основным отличием данной работы от других исследований, посвященных накапливаемым внешним эффектам, является модельный анализ последствий искаже-

ний, возникающих при оценке степени загрязнения сбрасываемых стоков. Исследование базируется на модификации базовой модели, отражающей возможность занижения степени загрязнения поступающих в водоем стоков при централизации природоохранного регулирования.

Анализ сравнительной статистики, проведенный на основе построенной модели, показывает, что в каждом населенном пункте, где имеет место несовершенство измерения качества воды, сброс сточных вод превышает эффективный уровень, а накопленная величина загрязнения оказывается выше во всех пунктах вниз по течению. При этом несовершенство оценки уровня загрязнения сбрасываемых в реку стоков в рамках данной модели не оказывает влияния на распределение средств природоохранного бюджета.

Показано, что сокращение расхождения между фактическим и измеряемым качеством стоков в одном пункте приводит к снижению сбросов сточных вод в этом пункте и улучшению качества воды во всех пунктах вниз по течению, что влечет рост общественного благосостояния.

Построенная модель позволила выделить еще один аргумент в дискуссии о плюсах и минусах децентрализованного подхода в природоохранной деятельности. Как следует из проведенного исследования, децентрализация при полной информации относительно качества сбрасываемых стоков в рамках данной модели однозначно влечет ухудшение общественного благосостояния. Однако, если изначально имеет место недооценка степени загрязненности стоков, то снижение уровня благосостояния при децентрализации вследствие игнорирования внешних эффектов от загрязнения в пограничном районе может быть с лихвой компенсировано выигрышем в благосостоянии при существенном снижении коэффициента искажения информации о степени загрязнения сбрасываемых стоков.

Следует отметить, что данные выводы получены лишь в рамках рассматриваемой спецификации модели в предположении «о прочих равных» в отношении остальных экзогенных параметров, значения которых, вообще говоря, также могут изменяться в результате децентрализации. В частности, к таким параметрам относится коэффициент θ , отражающий специфику природоохранных предпочтений населения. Поскольку этот коэффициент является частной информацией, то при децентрализации можно также ожидать более точной оценки природоохранных предпочтений агентов. В этом случае измеренная в рассматриваемой модели выгода от децентрализации недооценивает фактический выигрыш общества.

* *
*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана окружающей среды в России: Стат. сб. М.: Федеральная служба государственной статистики, 2008.
2. *Fredriksson P., Gaston N.* Environmental Governance in Federal Systems: The Effect of Capital Competition and Lobby Groups // *Economic Inquiry*. 2000. Vol. 38. P. 501–514.
3. *Fredriksson P.G., Mani M., Wollscheid J.R.* Environmental Federalism: A Panacea or Pandora's Box for Developing Countries? Policy Research Working Paper Series № N3847. The World Bank, 2006.

4. *Garcia-Valinas M.A.* What Level of Decentralization is Better in an Environmental Context? An Application to Water Policies // *Environmental Resource Economics*. 2007. Vol. 38. P. 213–229.
5. *Kunce M., Shogren J.F.* On Environmental Federalism and Direct Emission Control // *Journal of Urban Economics*. 2002. Vol. 51. P. 238–245.
6. *Lipscomb M., Mobarak A.* Decentralization and Water Pollution Spillovers: Evidence from the Re-drawing of County Boundaries in Brazil: IPC Working Paper Series № 67. 2007. (<http://hdl.handle.net/2027.42/61166>)
7. *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.
8. *Oats W.E.* An Essay on Fiscal Federalism // *Journal of Economic Literature*. 1999. Vol. 37. P. 1120–1149.
9. *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.
10. *Sigman H.* Decentralization and Environmental Quality: an International Analysis of Water Pollution: NBER Working Paper. № 13098. 2007.
11. *Whitehouse P.* Measures for Protecting Water Quality: Current Approaches and Future Developments // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2001. Vol. 50. P. 115–126.
12. *Wilson J.D.* Capital Mobility and Environmental Standards: Is There a Theoretical Basis for a Race to the Bottom? // *Fair Trade and Harmonization*. Vol. 1 / ed. by J. Bhagwati, R. Hudec. Cambridge: MIT Press, 1996. P. 395–427.