

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рикун А.Д.

(Москва)

Рассматривается модель расчета нормативов экономического стимулирования водоохранной деятельности в речном бассейне. Анализируются характер пространственной дифференциации показателя платы за сброс сточных вод и перераспределение затрат между источниками сброса.

В развитых странах широко используются экономические методы решения природоохранных проблем [1 — 3]. Альтернатива этим методам в сущности одна: административными средствами принуждать к выполнению нормативов предельно допустимых сбросов (ПДС) и концентраций (ПДК) или использованию стандартизованных технологических схем природоохранных мероприятий [4]. Однако в некоторых случаях сколько-нибудь эффективная система такой регламентации невозможна. Например, пока нельзя полностью отказаться от применения пестицидов и удобрений, а организация мониторинга и эффективного ограничения загрязнений — задача весьма сложная. Вот почему налогообложение подобных распределенных источников с последующим инвестированием получаемых средств в развитие относительно "чистых" производств может оказаться наиболее эффективным методом снижения соответствующих загрязнений [5, 6].

Многолетний опыт директивного управления водоохранной деятельностью в нашей стране, а также, например, в США обнаружил весьма низкую экономическую эффективность. В [7] показано, что рекомендуемые по стандартам США очистные сооружения (ОС) городской канализации имеют удельные затраты, существенно зависящие от пропускной способности ОС: от 0,25 до 3000 долл./галлон. При директивном управлении такие различия игнорируются, что приводит к существенному перерасходу средств*.

В СССР разработаны всевозможные методики расчета ПДС или временно согласованных сбросов (ВСС). Но отсутствует убедительная концепция определения ВСС для случая, когда уровень загрязнения реки — водоприемника превышает по каким-то показателям ПДК. В связи с этим идея двухставочного тарифа платы за сброс (ставка платежей за сброс сверх ВСС в пять раз выше "нормативного"), которой придерживаются многие специалисты [8], и приемлемая на ближайший период, представляется не вполне логичной.

Действительно, основная причина эффективности экономических рычагов в охране природы (как и в иных сферах) состоит в децентрализации принимаемых решений. Использование пятикратных платежей — это, по сути дела, закамуфлированное в экономические формы желание заставить источники сократить сбросы $\{m_i\}_{i=1}^n$ до уровней,

*По оценкам [4] использование технологических стандартов приводит к затратам, на треть превышающим их экономически оптимальный уровень.

не превышающих ВСС $\{\bar{m}_i\}_{i=1}^n$. Однако если величины ВСС являются обоснованными, логичнее требовать их выполнения, пользуясь жесткими административными методами.

На наш взгляд, разделение функций при использовании административных и экономических методов (которые обязательно должны дополнять друг друга) состоит в обеспечении надежности и эффективности реализации природоохранных мероприятий.

Имея в виду краткосрочный период планирования, последовательность расчетов может быть следующей.

На основании анализа затраты — эффект определяется конечная цель. В простейшем случае это может быть вектор показателей суммарного сброса от всех источников

$$M_{\Sigma}^* = \sum_{i=1}^n m_i^*.$$

Должна рассчитываться также программа-минимум, включающая пе-

речень первоочередных природоохранных мероприятий по снижению загрязнения среды и приводящая к результату (в данном случае, общему сбросу) $M_{\Sigma}^0 > M_{\Sigma}^*$.

Показатели экономического стимулирования устанавливаются так, чтобы источникам загрязнения было выгодно снизить свой суммарный сброс до уровня M_{Σ}^* . Величины ВСС $\{\bar{m}_i\}_{i=1}^n$ должны оставлять определенную степень свободы в достижении этой цели,

т.е. $M_{\Sigma}^0 \geq \sum_{i=1}^n \bar{m}_i > M_{\Sigma}^*$. Однако обеспечивать выполнение этих ВСС следует жесткими

административными санкциями. В частности, они могут предполагать и плату за сверхнормативный сброс $m_i - \bar{m}_i$ по штрафному тарифу. При этом вряд ли целесообразна унификация соотношения "сверхнормативных" и "нормативных" тарифов по общей методике.

Убедительные примеры эффективности экономических методов в управлении природопользованием дает практика ряда стран Западной Европы, где в течение нескольких десятилетий используется плата за воду и сброс загрязняющих веществ (ЗВ) [1, 3, 9]. Полученные от этих налогов средства направляются на финансирование водоохранной деятельности. Схемы экономического стимулирования, в которых плата, взимаемая за загрязнение природной среды, идет на компенсацию части затрат природоохранного назначения, можно назвать "замкнутыми" (по характеру движения финансовых потоков) [10].

Весьма впечатляющим представляется опыт использования методов экономического стимулирования по "замкнутой" схеме в Нидерландах. Здесь плата за сбросы ЗВ применяется с 1969 г. За этот период удалось снизить их с 40 эквивалентов населения* до 4,5 в 1985 г., т.е. почти в 10 раз, что обеспечивалось плавным, но постоянным ростом платы за сброс.

Основные достоинства "замкнутых" схем экономического стимулирования (ЗСЭС) состоят в следующем [1, 3, 9]:

переход к ним от директивных методов может быть осуществлен без нарушения сальдо доходов и расходов государственного и местного бюджетов;

действие таких схем, основанное на старой идее "кнута и пряника", оказывается более эффективным, чем методов, использующих только плату за загрязнение;

появляется перераспределительный эффект в затратах по водоохранной деятельности, от которой, в первую очередь, выигрывают источники с меньшими удельными показателями затрат на очистку (снижение общего сброса происходит наиболее дешевым образом со сглаживанием известного противоречия между критериями экономической эффективности и "справедливостью" (equity) в распределении затрат на охрану природы между источниками).

Существуют различные варианты ЗСЭС. Далее моделируются две из них и анализируются их свойства.

*Показатель загрязнения "человек-эквивалент" (ч.э.), применяемый в странах Западной Европы, аналогичен используемому в СССР показателю "приведенная масса" ЗВ [8].

1. МОДЕЛЬ СТИМУЛИРОВАНИЯ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ЧАСТИ ЗАТРАТ НА ВОДООХРАННУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Сегодня общепризнана необходимость переноса центра тяжести в управлении природопользованием на региональный уровень. В водном хозяйстве это — речной бассейн. В частности, в РСФСР организованы 18 бассейновых водохозяйственных объединений. Назовем, для краткости, орган управления такого объединения "Центром". Пусть задача Центра состоит в том, чтобы за период времени Δ_t с минимальными затратами снизить концентрации L рассматриваемых видов ЗВ в заданных створах $k = 1, \dots, K$ до некоторого уровня $\{\mu_{lk}\}_{l=1}^L$.

Рассмотрим максимально простую задачу, когда управляемыми объектами являются только n сосредоточенных источников загрязнения, имеющих самостоятельные выпуски в реку

$$T_{\Sigma}(x) = \sum_{i=1}^n x_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$M_k(x) = \sum_{r=1}^R \sum_{i \in I_r} \alpha_{rk} m_i(x_i) \leq \bar{M}_k, \quad k = 1, \dots, K, \quad (2)$$

$$m_{il}(x_i) \leq \bar{m}_{il}, \quad i = 1, \dots, n; \quad l = 1, \dots, L, \quad (3)$$

где $m_i(x_i) = \{m_{il}(x_i)\}_{l=1}^L$ — вектор-функции зависимостей сброса L рассматриваемых видов ЗВ от текущих затрат источника i на водоохранные мероприятия x_i (т.е. $x_i = e_i + (K_i - K_i^0)/\Delta_t$; e_i — эксплуатационные затраты; K_i^0 , K_i — основные фонды водоохранного назначения в начале и в конце периода Δ_t).

Предполагается, что все источники сброса расположены в R пунктах ($\bigcup_{z=1}^R I_r = \{1, \dots, R\} \forall r' \neq r'': I_{r'} \cap I_{r''} = \emptyset$); $L \times L$ -матрицы α_{rk} задают линейную связь между сбросом в створе r и загрязнением в k (в частности, если r ниже по течению, чем k , то $\alpha_{rk} = 0$; как правило, в α_{rk} учитывают реакции взаимодействия веществ первого порядка и процессы самоочищения). Векторы $\bar{M}_k = \{M_{kl}\}_{l=1}^L$ имеют смысл выбранных максимально допустимых величин расходов ЗВ ($\bar{M}_{kl} = \mu_{kl} Q_k$, где Q_k — расчетный расход воды в створе k).

Пусть ω — уровень компенсации текущих затрат на водоохранные мероприятия, а $\gamma_r = \{\gamma_{rl}\}_{l=1}^L$ — дифференцируемые по районам $r = 1, \dots, R$ векторы показателей платы за сброс ЗВ. Естественно считать, что поведение источников сброса — выбираемый ими уровень затрат $\tilde{x}_i$ и сбросов $\tilde{m}_i = m_i(\tilde{x}_i)$ — определяется стремлением к минимизации полных затрат $z_i(x_i)$ на водоохранные мероприятия. С учетом частичной компенсации и платы за сброс $z_i(x_i) \triangleq x_i - \omega x_i + (\gamma_r, m_i(x_i))$.

Таким образом,

$$z_i(\tilde{x}_i) = \min \{x_i(1 - \omega) + (\gamma_r, m_i(x_i)) | m_i(x_i) \leq \bar{m}_i\}. \quad (4)$$

Условие "замкнутости" схемы запишем в виде баланса финансовых потоков

$$\sum_{r=1}^R (\gamma_r, \sum_{i \in I_r} m_i(\tilde{x}_i)) = \omega \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i + \Delta K, \quad (5)$$

где ΔK — (при $\Delta K < 0$) внесистемные дотации (например, из госбюджета), а при $\Delta K > 0$ отчисления рассматриваемых предприятий в бюджет в бассейновый фонд природоохранного назначения (например, на сооружения городской канализации, расчистку русла реки и т.д.).

Как видно из (4), в зависимости от соотношений $\tilde{x}_i$, $\tilde{m}_i$, ω и γ предприятия либо потребляют средства (при $z_i(\tilde{x}_i) < \tilde{x}_i$), либо финансируют водоохранные мероприятия своих соседей (при $z_i(\tilde{x}_i) > \tilde{x}_i$). В частности, предприятие может не снижать своих сбросов ($\tilde{m}_i = m_i^0 = \bar{m}_i$), но если существующий уровень m_i^0 достаточно низок, водо-

охранные эксплуатационные затраты данного предприятия частично (на величину $\omega e_i^0 - (\gamma_r, m_i^0)$) компенсируют источники, недостаточно сократившие свой сброс.

Задачей Центра является определение таких параметров стимулирования $\omega^*, \{\gamma_r^*\}_{r=1}^R$, при которых выбор источников $\{\tilde{x}_i\}_{i=1}^n$ был бы оптимален с позиции системы в целом, т.е. совпадал бы с решением x^* задачи (1) — (3) при выполнении ограничений на баланс финансовых потоков (5).

Обозначим через $\lambda_{kl}^* = \|\lambda_{kl}^*\|_{k=1, \dots, K}^{l=1, \dots, L}$ двойственные оценки (2)*.

Если функции $m_{il}(x_i)$ выпуклые, $\Delta K \geq -T_\Sigma(x^*)$, то оптимальные нормативы стимулирования $\omega^*, \{\gamma_r^*\}_{r=1}^R$, обеспечивающие равенства $\tilde{x}_i = x_i^*, i = 1, \dots, n$, и (5), определяются соотношениями

$$\omega^* = \frac{\sum_{k=1}^K (\lambda_k^*, \bar{M}_k) - \Delta K}{T_\Sigma(x^*) + \sum_{k=1}^K (\lambda_k^*, \bar{M}_k)}, \quad (6)$$

$$\gamma_r^* = (1 - \omega^*) \sum_{k=1}^K (\lambda_k^*)' \alpha'_{rk}, r = 1, \dots, R. \quad (7)$$

В координатной форме (6), (7) примут вид

$$\gamma_{rl}^* = (1 - \omega^*) \sum_{k=1}^K \sum_{l'=1}^L \lambda_{kl'}^* \alpha_{rk}^{ll'},$$

$$\omega^* = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \lambda_{kl}^* \bar{M}_{kl} - \Delta K}{\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \lambda_{kl}^* \bar{M}_{kl} + T_\Sigma(x^*)}$$

2. СВОЙСТВА ЗАМКНУТОЙ СХЕМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ, ПРЕДПОЛАГАЮЩЕЙ ЧАСТИЧНУЮ КОМПЕНСАЦИЮ ЗАТРАТ

Когда уровень внесистемных отчислений ΔK не слишком значителен ($-T_\Sigma(x^*) < \Delta K < \sum_{k=1}^K (\lambda_k^*, \bar{M}_k)$), уровень компенсации $\omega^* \in (0,1)$. Вычислительные эксперименты показывают, что как правило ω^* монотонно возрастает, а плата γ_r^* — убывает с ростом $\bar{M}_{kl}$ (т.е. с ослаблением требований к качеству $\bar{M}_k$). Подобный характер зависимостей нарушается лишь в области очень больших $\bar{M}_k$, когда ограничения на качество воды (2) становятся малозначимыми.

При пространственной дифференциации платы для линейного участка реки, постоянного расхода и консервативных ЗВ (все α_{rk} — единичные либо нулевые матрицы) плата за сброс уменьшается от верховий к устью. И наоборот, при существенном самоочищении и наиболее высоком загрязнении в низовьях, плата возрастает "сверху вниз" (аналогичный анализ для расчета платы за свежую воду проводился в [11]).

Рассмотрим важный частный случай (для краткости, назовем его "задачей пром-узла"), когда пространственная дифференциация источников несущественна: $K = R = 1$, а α_{11} — единичная матрица. Тогда из (7) следует, что $\gamma^* = (1 - \omega^*) \lambda_\Sigma^*$, т.е. вектор платы за сброс пропорционален вектору маргинальных затрат λ_Σ^* на снижение сброса, но меньше его по модулю. Этот факт известен [9], и (7) является его теоретическим обоснованием.

Модель ЗСЭС (1) — (7) изложена в терминах охраны водной среды. Но результаты

При этом $\lambda_k^ = \{\lambda_{kl}^*\}_{l=1}^L$ — векторы оценок, соответствующих ограничениям (2) с индексом k .

ее могут быть применены и для стимулирования снижения загрязнения воздуха. Упрощенный вариант модели (1) – (3) использовался, в частности, в [2] для расчета рынка прав на загрязнение атмосферы.

Рассмотрим теперь другой важный вопрос: какие предприятия остаются в выигрыше при замкнутой схеме стимулирования ($z_i^* \triangleq z_i(x_i^*) < x_i^*$), а какие субсидируют снижение сбросов своих соседей (т.е. $z_i^* > x_i^*$). Ответ зависит от отношения между достигнутым оптимальным сбросом $m_i^* \triangleq \{m_{ij}(x_i^*)\}$ и затратами x_i^* . Если $\Delta K = 0$, то

$$z_i^* < x_i^* \Leftrightarrow \frac{x_i^*}{(\gamma_r^*, m_i^*)} > \frac{\sum_{j=1}^n x_j^*}{\sum_{r=1}^R \sum_{j \in I_r} (\gamma_r^*, m_j^*)} = \frac{T_\Sigma(x^*)}{\sum_{r=1}^R \sum_{j \in I_r} (\gamma_r^*, m_j^*)} = \frac{1}{\omega^*}; \quad (8)$$

Таким образом, в выигрыше останутся те источники i , у которых отношение затрат (x_i^*) к "результату" (γ_r^*, m_i^*) оказывается выше среднего для всех источников значения, равного $1/\omega^*$. При этом компенсация "избыточных" затрат будет осуществляться за счет источников, затраты на единицу сброса ($x_i^*/(\gamma_r^*, m_i^*)$) которых по оптимальному плану ниже средних. В (8) r – это номер пункта, где расположен источник $i \in I_r$. Поэтому естественно оценивать векторную величину сброса m_i^* в "ценах" γ_r^* .

Важно отметить, что относительный уровень воздействия на источник оказывается тем значительнее, чем сильнее отличаются его относительные затраты от средних

$$\frac{z_i^* - x_i^*}{(\gamma_r^*, m_i^*)} = \omega^* \left\{ \frac{T_\Sigma(x^*)}{\sum_{r=1}^R \sum_{j \in I_r} (\gamma_r^*, m_j^*)} - \frac{x_i^*}{(\gamma_r^*, m_i^*)} \right\}. \quad (9)$$

Отсюда можно сделать вывод, что использование ЗСЭС приводит к постепенному выравниванию уровня удельных затрат $\{z_i^*/(\gamma_r^*, m_i^*)\}$ различных источников по сравнению со значениями $\{x_i^*/(\gamma_r^*, m_i^*)\}$, к которым приводит оптимальное решение*.

Такие схемы (как и иные подходы, предполагающие плату за сброс ЗВ) по сравнению с методами "административного" задания для источников "оптимальных" ВСС ($\bar{m}_i = m_i^*$), имеют то преимущество, что снижают заинтересованность предприятий в установлении им необременительного показателя $\bar{m}_i$. А такая заинтересованность у источников имеет место не только при чисто директивных подходах к управлению природоохранной деятельностью, но и при использовании ряда рыночных механизмов управления природопользованием – концепций "пузыря", "возмещения" и "рынка загрязнений", и др.

Помимо рассмотренного, возможны и другие варианты реализации ЗСЭС с компенсацией затрат, также приводящие к совпадению децентрализованных ($\tilde{x}_i$) и оптимальных (x_i^*) решений. В частности, можно было бы ввести единую плату γ^* за сброс ЗВ и при этом использовать зависящие от района показатели ω_r^* . Или же учесть ограничения на затраты в отраслевом разрезе, плату за воду. Однако все это, конечно, приведет к увеличению числа различных показателей стимулирования [12].

3. ЗАМКНУТАЯ СХЕМА ЭКОНОМИЧЕСКОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ С ПООЩРЕНИЕМ СВЕРХЛИМИТНОГО СОКРАЩЕНИЯ СБРОСА

Для реального речного бассейна модель (1) – (3) может оказаться слишком упрощенной. Вместе с тем даже в этом случае необходима труднодоступная информация о зависимостях $m_i(x_i)$, так что при практическом управлении водохозяйственной деятель-

*Этот факт убедительно подтверждался вычислительными экспериментами.

ностью, по-видимому, целесообразно использовать двухуровневую "замкнутую" систему управления. На ее верхнем уровне должна решаться агрегированная бассейновая задача оптимизации водопользования (или просто проводиться варианты расчеты). В итоге каждый "промузел" (определенный участок реки) получит значения суммарных ПДС, показателей платы (по которым он "расплачивается" с бассейновым Центром за сброс ЗВ и водопотребление в пределах лимита) и величину отчислений ΔK_r (дотаций при $\Delta K_r < 0$) на общесбассейновые нужды. Исходя из этого, несложно обосновать "местные" показатели стимулирования γ_r, ω_r : решить, например, задачу типа (1) — (3), с $K = R = 1$ и правой частью (2), соответствующей требованиям бассейнового Центра. Сопоставление результатов расчетов по "точной" и агрегированной моделям показывает, что их расхождение не превысит существенно уровень погрешности исходных данных (3).

Важным моментом, определяющим эффективность методов управления природопользованием, является их устойчивость к искажению экологической информации. Поэтому при любой схеме управления необходима возможность контроля, в первую очередь, за действительным сбросом источников. Поучительным представляется опыт стран ЕЭС [9, 13], где мониторинг осуществляется только для крупных источников, с частотой, пропорциональной значимости источника, в то время, как мелкие и средние предприятия "рассчитываются" за сброс по отраслевым нормативам. Каждое из них может потребовать проведения мониторинга. Однако фактически это происходит весьма редко, поскольку, когда сброс действительно уступает нормативному, предприятие обязано оплатить расходы на проведенное обследование*.

Таким образом, предприятие заинтересовано в мониторинге только при полной уверенности, что его фактический сброс существенно ниже нормативного**.

Отметим, что практически Центру нет нужды контролировать правильность функции $m_i(x_i)$ которую он может, в частности, получать от источника в качестве нескольких (Z) вариантов развития $\{x_i^z, m_i^z\}_{z=1}^Z$. После установления нормативов γ, ω и ВСС $\{\tilde{m}_i\}_{i=1}^n$ каждый источник сообщает Центру свои планы по снижению сброса $\tilde{m}_i$ и соответствующие затраты, претендуя на компенсацию в размере $\omega \tilde{x}_i$. Центр из фондов природоохранной деятельности выделяет кредиты предприятиям i , для которых $\omega \tilde{x}_i + (\gamma \tilde{m}_i) < 0$, но после реализации программ предприятия (в конце периода Δt) компенсирует им только величину, равную $\omega \min \{\hat{x}_i, \tilde{x}_i\}$, где $\hat{x}_i, \hat{m}_i$ — "измеряемые" значения затрат $\tilde{x}_i$ и сбросов $\tilde{m}_i$. Если выполняется гипотеза слабого влияния [14] о "независимости" γ^*, ω^* от поведения отдельных источников и они не объединяются в коалицию с целью обмана Центра, то каждое предприятие, как правило, заинтересовано в сообщении ему точной информации [3].

Специфическая черта ЗСЭС (4) — (7) — использование получаемой платы на перераспределение затрат между самими источниками. Отсюда вытекают не только названные ранее достоинства схемы, но и определенные сложности, даже негативные последствия ее использования. Иногда существенное снижение сброса ЗВ целесообразно осуществлять путем внесения изменений в технологии основного производства. Выделить при этом "природоохранную" составляющую затрат сложно, ибо подобные изменения обычно являются многоцелевыми. Стимулирование природоохранной деятельности в таких случаях (как и применительно к предприятиям-гигантам, существенно влияющим на экономику или состояние природы) требует индивидуального подхода. Теоретические оценки и расчеты по реальным объектам показывают, что ω^* , как правило, невелико (не более 0,3—0,5). Однако при значительных уровнях (выше 0,5) компенсация части затрат может уменьшить заинтересованность предприятий в использовании новых, более дешевых технологий очистки.

К.Г. Гофманом предложен вариант ЗСЭС, в котором центр вместо компенсации затрат "выкупает" у источников их "сверхлимитное" снижение сброса. Поведение

*В противном случае, если сброс оказывается выше норматива и соответственно возрастает плата предприятия, расходы на обследование ложатся на "Центр".

** Полезный организационный прием заключается также в требовании расположения водозабора предприятия ниже места сброса его сточных вод.

источников при такой схеме описывается следующим образом

$$\hat{z}_i(\hat{x}_i) = \min \{ x_i + (\gamma^t, m_i(x_i)) - E^H(\gamma^s, \bar{m}_i - m_i(x_i)) \mid m_i(x_i) \leq \bar{m}_i \}, \quad (10)$$

где E^H — коэффициент приведения капитальных затрат к годовым (в наших расчетах $E^H = 0,15$); $\gamma^t = \{\gamma_i^t\}_{i=1}^L$ — ежегодная плата за сброс ЗВ; γ_i^s — единовременная выплата за снижение единицы сброса вида l ЗВ ниже уровня ВСС $\bar{m}_{il}$ ($\gamma^s = \{\gamma_i^s\}_{i=1}^L$). Условия "замкнутости" схемы принимают вид

$$\sum_{i=1}^n (\gamma^t, m_i(\hat{x}_i)) = E^H \sum_{i=1}^n (\gamma^s, \bar{m}_i - m_i(\hat{x}_i)) + \Delta K. \quad (11)$$

Пусть задача Центра по-прежнему описывается моделью (1) — (3). (для простоты предположим лишь, что $K = R = 1$, α_{11} — единичная, так что индексы k, r будут опущены и в (11) $\Delta K = 0$). Тогда "наилучшие" показатели стимулирования ($\hat{\gamma}^t, \hat{\gamma}^s$), обеспечивающие выполнение условия (11) и равенств $\hat{x}_i = x_i^*$, определяются (аналогично (6), (7)) из соотношений

$$\hat{\gamma}^t = \lambda_\Sigma^* \frac{(\bar{M}_\Sigma - M_\Sigma^*, \lambda_\Sigma^*)}{(\lambda_\Sigma^*, \bar{M}_\Sigma)}, \quad \hat{\gamma}^s = \lambda_\Sigma^* \frac{(\lambda_\Sigma^*, M_\Sigma^*)}{(\lambda_\Sigma^*, \bar{M}_\Sigma)}, \quad (12)$$

где $\bar{M}_\Sigma = \{\sum_{i=1}^n \bar{m}_{il}\}_{l=1}^L$ — суммарные значения "разрешений на сброс"; $M_\Sigma^* = \{\sum_{i=1}^n m_{il}^*\}_{l=1}^L$ — оптимальный уровень общего сброса. Эта схема заметно отличается от предыдущей. При ней Центр не нуждается для расчета нормативов стимулирования в знании общих затрат $T_\Sigma(x^*)$, а для расчета с предприятиями — в информации об их затратах. Из (10) следует, что предприятие i платит (или получает при $\hat{z}_i - \hat{x}_i < 0$) сумму $\hat{z}_i - \hat{x}_i = (\gamma^t, m_i(\hat{x}_i)) - E^H(\gamma^s, \bar{m}_i - m_i(\hat{x}_i)) = (\gamma^t + E^H \gamma^s, m_i(\hat{x}_i)) - E^H(\gamma^s, \bar{m}_i)$. В таком случае перераспределение водоохранных затрат между источниками становится иным, существенно более зависящим от уровней ВСС $\{\bar{m}_{il}\}_{i=1}^n$

$$\frac{\hat{z}_i(x_i^*) - x_i^*}{(\lambda_\Sigma^*, \bar{m}_i)} = \frac{(\lambda_\Sigma^*, m_i^*)}{(\lambda_\Sigma^*, \bar{m}_i)} - \frac{(\lambda_\Sigma^*, M_\Sigma^*)}{(\lambda_\Sigma^*, \bar{M}_\Sigma)}. \quad (13)$$

Поскольку величины $\bar{m}_i$ часто рассчитываются по принципу "от достигнутого" (в частности, $\bar{m}_i$ может соответствовать существующему уровню сброса), постольку в этом варианте ЗЭС выигрывают источники с относительно большим уровнем сброса (или сумевшие себе "выбить" необременительный уровень ВСС $\bar{m}_i$).

4. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ*

По обеим схемам (для краткости обозначим их I и II соответственно) были проведены вычислительные эксперименты для пищевых и машиностроительных предприятий крупного промузла. Задачей Центра являлась модель

$$M_\Sigma^* \triangleq M_\Sigma^*(\bar{T}_\Sigma) = \min \left\{ \sum_{i=1}^n m_i(x_i) \mid \sum_{i=1}^n x_i \leq \bar{T}_\Sigma, m_i(x_i) \leq \bar{m}_i, i = 1, \dots, n \right\}. \quad (14)$$

Мерой сброса предприятий $(m_i(x_i))$ и промузла в целом (M_Σ^*) служил показатель приведенной массы.

В табл. 1 приведены показатели оптимального решения (14) при схеме I (параметр $\Delta K = 0$). Как видно, в широком диапазоне величины $\bar{T}_\Sigma \in (4,1; 8,0)$ млн. руб. показатели машиностроения T_2^*, M_2^* не меняются. Это объясняется диспропорцией в развитии водохозяйственной инфраструктуры отраслей. При средних коэффициентах водооборота в отраслях, соответственно 45% и 61%, основные фонды водного хозяйства, приходя-

*В их проведении большую помощь автору оказали А.М. Черняев и И.М. Ширяк.

Зависимость оптимального решения и показателей стимулирования от затрат на водоохрану

Общие $\bar{T}_\Sigma$, млн. руб.	Сброс ЗВ, тыс. т. п/м год*			Затраты, тыс. руб. в отраслях		Плата за сброс, руб., т.п.м.**		Уровень компенса- ции ω^*
	M_Σ^*	M_1^*	M_2^*	T_1^*	T_2^*	γ^m	γ^*	
4,0	102,5	60,7	41,8	0,59	3,41	9,9	7,9	0,2
5,0	76,3	43,4	32,9	1,51	3,49	61,5	31,7	0,48
6,0	60,0	27,2	32,9	2,51	3,49	61,5	38,1	0,38
7,0	45,8	13,0	32,9	3,51	3,49	76,6	51,0	0,38
8,0	38,7	5,8	32,9	4,51	3,49	140,8	83,8	0,41
9,0	32,2	2,5	29,7	4,96	4,04	171,8	106,0	0,38

* т.п.м – тонны приведенной массы ЗВ.

** В графе γ^m приведены значения маргинальных затрат $\gamma^m = -\partial \bar{T}_\Sigma / \partial M_\Sigma^*$ на снижение сброса.

Таблица 2

Распределение общих затрат на водоохранные мероприятия при двух схемах стимулирования

Показатель		$\bar{T}_\Sigma$, млн. руб./год					
		4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Оптимальный план	$T_1^*(\bar{T}_\Sigma)$	0,59	1,51	2,51	3,51	4,51	4,96
	$T_2^*(\bar{T}_\Sigma)$	3,41	3,49	3,49	3,49	3,49	4,04
Схема I	$Z_1^*(\bar{T}_\Sigma)$	0,95	2,15	2,59	3,00	3,17	3,34
	$Z_2^*(\bar{T}_\Sigma)$	3,05	2,85	3,42	4,00	4,83	5,66
Схема II	$\hat{Z}_1(\bar{T}_\Sigma)$	0,78	2,22	2,64	3,08	3,06	3,14
	$\hat{Z}_2(\bar{T}_\Sigma)$	3,22	2,78	3,36	3,92	4,94	5,86

щиеся на единицу сброса ($\{K_i^0/M_i^0\}_{i=1}^2$), в машиностроении в 3 раза выше, чем в пищевой промышленности. Поэтому в оптимальном плане (при $\bar{T}_\Sigma \geq 4,1$) весь рост затрат приходится на последнюю и так до $\bar{T}_\Sigma \approx 8,1$, когда сброс в пищевой промышленности оказывается заметно ниже, чем в машиностроении, а его дальнейшее снижение – связанным с резким ростом затрат.

Интересно сопоставить полученное "оптимальное" распределение затрат между отраслями (T_1^* , T_2^*) с распределениями затрат, соответствующих схемам стимулирования I (Z_1^* , Z_2^*) и II ($\hat{Z}_1$, $\hat{Z}_2$) при различных уровнях общих затрат $\bar{T}_\Sigma$ (табл. 2).

Несмотря на существенное различие между методами стимулирования, распределения общих затрат оказываются в этих случаях довольно близкими, отличаясь от распределения затрат по оптимальному плану. Например, в машиностроении по схеме I (с компенсацией затрат) при $\bar{T}_\Sigma = 4,0$ не только полностью компенсируется рост капитальных затрат, но затраты T_2^* оказываются даже ниже уровня эксплуатационных ($\approx 3,21$). Это происходит за счет относительно большого сброса (и выплата) пищевой промышленностью. При увеличении $\bar{T}_\Sigma$, когда в пищевой промышленности растут капитальные вложения на водоохранные мероприятия и ее сброс уменьшается, характер распределения средств меняется и при $\bar{T}_\Sigma \approx 6,2$ (когда T_1^*/M_1^* становится больше T_2^*/M_2^*) уже машиностроение начинает "субсидировать" дальнейшее уменьшение сброса предприятий пищевой промышленности.

Таким образом, использование ЗСЭС приводит к выравниванию уровней удельных затрат в отраслях при оптимальном использовании имеющихся ресурсов.

Автор благодарен К.Г. Гофману, А.М. Черняеву за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Environmental Policies in East and West. L., 1987.
2. Кречетов Л.И. Региональные системы экономического стимулирования природоохранной деятельности предприятий // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 1990. Вып. 8.
3. Рикун А.Д., Черняев А.М., Ширяк И.М. Методы математического моделирования в оптимизации водохозяйственных систем промышленных регионов. М.: Наука, 1991.
4. Fraas A.G., Munley V.G. Economical Objectives within a Burocratic Decision Process: Setting Pollution Control Requirements under the Clean Water Act // J. Environmental Econ. and Manag. 1989. V. 17. № 1.
5. Гофман К.Г. Экономический механизм природопользования в условиях перехода к рыночной экономике // Экономика и мат. методы, 1991. Т. 27. Вып. 2.
6. Stirens B.K. Fiscal Implication of Effluent Charges and Input Taxes // J. Environmental Econ and Manag. 1988. V. 15. № 3.
7. Questions and Answers about the New Drinking Water Act // Water Eng. and Manag. 1987. N 8.
8. Экономический механизм рационального использования ресурсов и охраны окружающей среды // Тез. докл. Всес. конф. Днепропетровск: ДГУ, 1989.
9. Pollution Charges in Practice, P., 1980.
10. Рикун А.Д. "Замкнутая" схема экономического стимулирования и иерархической системе управления // Докл. АН СССР, 1990. Т. 311. № 5.
11. Голуб А.А., Синельников С.Г. Определение замыкающих затрат на воду // Водные ресурсы: рациональное использование. М.: Экономика, 1987.
12. Рикун А.Д., Ширяк И.М. Модель экономического стимулирования ресурсосберегающей деятельности промышленных предприятий // Экономика и мат. методы, 1990. Т. 26. Вып. 4.
13. Baumol W.J., Oates W.E. Economics, Environmental Policy and Quality of Life. N.Y., 1979.
14. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. М.: Наука, 1977.

Поступила в редакцию
4 VI 1991