АНАЛИЗ ПРОТИВОРЕЧИВЫХ СИТУАЦИЙ В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Золотова Т.В.

(Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, г.Комсомольск-на-Амуре)

tgold11@mail.ru

Исследован вопрос распределения некоторого объема средств предприятия между природоохранными объектами с целью улучшения качества окружающей среды региона. Рассмотрена проблема необходимого увеличения объема этих средств, чтобы показатели качества каждого природоохранного объекта были не ниже предельно допустимых. При отсутствии необходимого объема средств предложен подход, основанный на понятии предельно напряженного распределения средств. Решение этих проблем для предприятия осуществляется совместно с решением задачи согласования интересов регионального управления и предприятия. Указаны особенности решения таких задач для N *предприятий.*

Ключевые слова: распределение средств, показатели качества, предельно напряженное распределение, согласование интересов.

Введение

Основная цель планирования природоохранной деятельности определяется как обеспечение наиболее благоприятных условий жизнедеятельности общества, заключающихся как в усилении ресурсовосстановительного потенциала природы, так и в неуклонном снижении отрицательного воздействия производственной деятельности человека на окружающую среду. Вопросы экологии и защиты окружающей природной среды освещались, например, в работах [5], [13], [14], [15], [16].

Важную роль при этом играет установление нормативов качества окружающей природной среды с целью установления для окружающей природной среды предельно допустимых норм воздействия, гарантирующих экологическую безопасность населения и сохранение генетического фонда, обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях производственной деятельности [17]. При нарушении требований нормативов качества окружающей природной среды выброс, сброс вредных веществ или иные виды воздействия на окружающую среду могут быть ограничены, приостановлены или прекращены. Такое распоряжение осуществляется по предписанию специально уполномоченных на то государственных органов Российской Федерации в области охраны окружающей природной среды.

Промышленное предприятие, используя, например, какой-то один природный ресурс, в результате своей производственной деятельности воздействует на различные природные среды (далее природоохранные объекты): водные ресурсы, земля, воздух, лесные угодья и др. Поэтому предприятия, планирующие свою природоохранную деятельность, должны регулировать качество природоохранных объектов того региона, в котором живет и проявляет себя человек.

Так как природоохранная деятельность любого предприятия связана с дополнительными затратами, то прежде чем руководство предприятия примет решение относительно экологических мероприятий по каждому природоохранному объекту, необходимо определить общий размер дополнительных затрат предприятия на улучшение качества природной среды [1], [3], [5].

Такая задача может решаться на региональном уровне, например, совместно с органами, в ведении которых находится распределение природных и дефицитных ресурсов региона, а также контроль за качеством окружающей природной среды.

1. Проблема увеличения объема дополнительных средств на улучшение качества окружающей среды

Рассмотрим двухуровневую иерархическую систему управления, состоящую из одного элемента верхнего уровня (центра) и одного элемента нижнего уровня (подсистемы). Устойчивость и эффективность функционирования иерархической системы определяется согласованностью интересов всех ее уровней. Вопросы согласования интересов в иерархических системах освещались также в [7], [9].

Пусть в задаче согласования интересов регионального управления (центра) и предприятия (подсистемы) критерий эффективности предприятия, отражающей его интересы, представляет собой функцию прибыли $\Pi(\overline{\Phi},\omega,Y-S)$, зависящую от стратегии регионального управления $(\overline{\Phi},\omega)$ и стратегии предприятия S. Здесь $\overline{\Phi}=(\Phi_1,...,\Phi_K)$ - выделяемые центром природные ресурсы (вода, лесные угодья) и/или дефицитные ресурсы (газ, электроэнергия), Y - некоторый объем денег предприятия, часть которого может быть инвестирована на развитие самого предприятия. Существует некоторая система выплат за использование или загрязнение природных ресурсов в виде некоторой гладкой функции $\psi(S,\omega)$, зависящей от величины S и значения параметра $\omega\in\Omega$, задаваемого центром. Предполагается, что Ω является выпуклым множеством. Параметр ω может быть вектором или скалярной величиной и может рассматриваться как мера снижения выплат на одну единицу вложенных средств. Функция $\psi(S,\omega)$ обладает следующими свойствами $\forall\omega\in\Omega$: $\psi(S,\omega)>0$, $\psi'_\omega(S,\omega)<0$, $\psi'_S(S,\omega)<0$, $\psi''_S(S,\omega)>0$, $\lim\limits_{S\to\infty}\psi(S,\omega)=0$, $\psi(0,\omega)=\psi_0$, где ψ_0 - плата при отсутствии дополнительных вложений средств S, $\psi_0\in\left]0;\Psi\right]$, Ψ - предельно допустимый размер платы.

Предположим, что предприятие выпускает M видов продукции и рассмотрим прибыль предприятия с учетом платы за использование или загрязнение природных ресурсов

$$\Pi(\overline{\Phi},\omega,S)=\sum_{m=1}^{M}p_m X_m(\overline{\Phi},Y-S)-C(\overline{\Phi},Y-S)-\psi(S,\omega),$$

где p_m - цена на продукцию m -го вида $m=\overline{1,M}$. Выпуск m -го вида продукции предприятия $X_m(\overline{\Phi},Y-S)$ будем считать неоклассической производственной функцией $m=\overline{1,M}$, то есть такой функцией, для которой выполнены условия: $\forall\Phi_k=0,k=\overline{1,K},X_m(\overline{\Phi},Y-S)=0$, $\frac{\partial}{\partial\Phi_k}X_m(\overline{\Phi},Y-S)>0$, $\frac{\partial^2}{\partial\Phi_k^2}X_m(\overline{\Phi},Y-S)<0$, $\forall k=\overline{1,K},\ \lim\limits_{\Phi_k\to\infty}X_m(\overline{\Phi},Y-S)=\infty$; кроме того, $\frac{\partial}{\partial S}X_m(\overline{\Phi},Y-S)<0$, $\frac{\partial^2}{\partial S^2}X_m(\overline{\Phi},Y-S)>0$. Функция издержек производства $C(\overline{\Phi},Y-S)$ считается гладкой, выпуклой, возрастающей функцией ресурсов Φ_k , $k=\overline{1,K}$ и затрат на развитие производства. Тогда выбор управляющих воздействий, которыми располагает предприятие, определяется условием

$$\sum_{m=1}^{M}p_m X_m(\overline{\Phi},Y-S)-C(\overline{\Phi},Y-S)-\psi(S,\omega)\to\max_{S\in[0;Y]}. \tag{1}$$

Учитывая предположения относительно $X_m(\overline{\Phi},Y-S)$ $m=\overline{1,M}$, $C(\overline{\Phi},Y-S)$ и $\psi(S,\omega)$, функция прибыли (1), как сумма вогнутых функций, является вогнутой на компактном выпуклом множестве $[0;Y]$.

Пусть при фиксированной стратегии центра $(\overline{\Phi},\omega)$ задача (1) дает решение $S^0(\overline{\Phi},\omega)$. Методы решения экстремальных задач описаны, например, в [4], [10].

Качество любого объекта окружающей среды определяется согласно показателю качества $\varphi_j(S_j)$, $j=\overline{1,J}$, где J количество объектов, S_j - средства, выделяемые на восстановление j-го объекта, $\sum_{j=1}^{J} S_j = S^0(\overline{\Phi}, \omega)$ [5]. Если L - общее количество показателей качества, то $\varphi_{jl}(S_j)$ - l-ый показатель качества j-го объекта окружающей среды, $j = \overline{1, J}$, $l = \overline{1, L}$. Относительно $\varphi_{jl}(S_j)$ известно, что функция является гладкой и $\forall j = \overline{1, J}, \forall l = \overline{1, L}$ обладает следующими свойствами:

$$\varphi_{jl}(S_j) > 0, \varphi'_{jl}(S_j) > 0, \varphi''_{jl}(S_j) \le 0, \varphi_{jl}(0) = a_{jl}, a_{jl} \ge 0,$$

где a_{jl} - значение l-го показателя качества j-го объекта окружающей среды при отсутствии вложения средств на его восстановление.

Считая, что центр управления региона стремится к увеличению налоговых отчислений с предприятия, получаем задачу выбора управления центра в виде

$$(2) \qquad \sum_{m=1}^{M} \delta_m X_m(\overline{\Phi}, Y - S^0(\overline{\Phi}, \omega)) \to \max_{(\overline{\Phi}, \omega) \in U},$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U = \left\{ (\overline{\Phi}, \omega) \mid \overline{\Phi} \in \prod_{k=1}^{K} [0, \Phi_k], \omega \in \Omega, \varphi_{jl}(S_j) \ge \varphi^*_{jl}, \sum_{j=1}^{J} S_j \le S^0(\overline{\Phi}, \omega), S_j \ge 0, j = \overline{1, J}, l = \overline{1, L} \right\},$$

$\delta_m = \delta \pi_m$, π_m - прибыль с единицы продукции m-го вида, δ - величина налога, взимаемого с прибыли, $\varphi^*_{jl} > 0$ - предельно допустимое значение l-го показателя качества j-го природоохранного объекта, определяемое согласно нормативам.

Задача (2) разрешима, если множество допустимых управлений U не пусто, то есть $\exists (\overline{\Phi}, \omega), \overline{\Phi} \in \prod_{k=1}^{K} [0; \Phi_k], \omega \in \Omega$ такие, при которых возможно распределение средств $S^0(\overline{\Phi}, \omega)$ между объектами окружающей среды, чтобы показатели качества природоохранного объекта были не ниже предельно допустимых.

Рассмотрим относительный показатель качества $\frac{\varphi_{jl}(S_j)}{\varphi_{jl}^*}$ и определим тот природоохранный объект, на котором относительный показатель качества принимает наименьшее значение: $y = \min\limits_{j,l} \frac{\varphi_{jl}(S_j)}{\varphi_{jl}^*}$. Улучшение качества природной среды связано с увеличением значения y. Оценка экономической эффективности мероприятий по повышению уровня качества окружающей среды может выражаться в виде величины предотвращенного экономического ущерба (в денежном выражении - убытков), например, объема сэкономленных средств, идущих на ликвидацию последствий, вызванных низким уровнем качества окружающей природной среды региона. К таким последствиям можно отнести повышение уровня заболеваемости населения региона, что, в свою очередь, потребует дополнительных средств на медицинское обслуживание, или ухудшение качества пахотных земель, требующее средства на восстановление.

Пусть E - оценка экономической эффективности мероприятий по повышению уровня качества окружающей среды для $y = 1$. Тогда центр, экономя средства, будет стремиться к максимизации критерия Ey.

Возьмем линейную свертку критериев типа суммы с весовым коэффициентом $\alpha \in [0;1]$ и представим задачу выбора оптимальной стратегии $(\overline{\varPhi}, \omega, y)$ центра в виде

(3) $$\alpha \sum_{m=1}^{M} \delta_m X_m(\overline{\varPhi}, Y - S^0(\overline{\varPhi}, \omega)) + (1-\alpha)Ey \to \max_{(\overline{\varPhi}, \omega, y) \in U_y},$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U_y = \left\{ (\overline{\varPhi}, \omega, y) \mid \overline{\varPhi} \in \prod_{k=1}^{K} [0; \Phi_k], \omega \in \Omega, \varphi_{jl}(S_j) \ge y\varphi_{jl}^*, \sum_{j=1}^{J} S_j \le S^0(\overline{\varPhi}, \omega), S_j \ge 0, j = \overline{1,J}, l = \overline{1,L} \right\}$$

Весовой коэффициент α характеризует степень важности критериев.

Обозначим через $(\overline{\Phi}^0, \omega^0, y^0)$ решение задачи (3). При этом стратегией центра управления региона является вектор $(\overline{\Phi}^0, \omega^0)$. Тогда стратегией предприятия, определяющей размер дополнительных затрат предприятия на улучшение качества природной среды, является величина $S^0(\overline{\Phi}^0, \omega^0)$.

Если решение задачи (3) дает $y^0 \geq 1$, то средств $S^0(\overline{\Phi}^0, \omega^0)$ достаточно для того, чтобы показатели качества для каждого природоохранного объекта были не ниже предельно допустимых. При $y^0 < 1$ средств $S^0(\overline{\Phi}^0, \omega^0)$ оказывается недостаточно. То есть, при любом распределении средств $S^0(\overline{\Phi}^0, \omega^0)$ между природоохранными объектами хотя бы один показатель качества хотя бы одного природоохранного объекта оказывается ниже предельно допустимого значения:

(4) $\forall (S_1, \ldots S_J), \sum_{j=1}^{J} S_j \leq S^0(\overline{\Phi}^0, \omega^0), S_j \geq 0, j = \overline{1, J}, \exists j = \overline{1, J}, \exists k = \overline{1, K}, \varphi_{jk}(S_j) < \varphi_{jk}^*$.

Один из подходов решения центром этой проблемы связан с решением задачи коррекции данных в (3) так, чтобы выполнялось $y^0 \geq 1$. Этого можно добиться за счет варьирования, например величины $S^0(\overline{\Phi}^0, \omega^0)$, обеспечивая минимально возможную допустимую корректировку ограничений (см., например, [6], [8], [12], [18]).

В настоящее время проблема защиты окружающей среды становится проблемой государственного масштаба. Основным механизмом решения комплексных по масштабам проблем безопасности является программно-целевой метод в форме федеральных целевых программ, государственными заказчиками которых выступают федеральные и территориальные органы исполнительной власти. При этом исключительно важна экономическая составляющая. Экономические механизмы федерального и территориального уровней управления, используемые для решения задач экологической безопасности, предусматривают помимо всего прочего также финансирование мероприятий по улучшению качества окружающей природной среды в рамках федеральных целевых программ [3].

Если денежных средств, собранных за счет выплат (штрафов) предприятия и предназначенных для ликвидации негативных экологических последствий производства оказывается недостаточно, то финансирование таких мероприятий может осуществляться в рамках федеральных целевых программ.

Будем считать, что региональное управление может выделять предприятию средства в размере ΔS. Тогда задача выбора оптимальной стратегии $(\overline{\Phi}, \omega, \Delta S)$ для центра принимает вид

$$(5) \qquad \sum_{m=1}^{M} \delta_m X_m(\overline{\Phi}, Y - S^0(\overline{\Phi}, \omega)) - \Delta S \to \max_{(\overline{\Phi}, \omega, \Delta S) \in U_{\Delta S}},$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U_{\Delta S} = \{(\overline{\Phi}, \omega, \Delta S) \mid \overline{\Phi} \in \prod_{k=1}^{K} [0; \Phi_k], \omega \in \Omega, \varphi_{jl}(S_j) \geq \varphi_{jl}^*,$$

$$\sum_{j=1}^{J} S_j \leq S^0(\overline{\Phi}, \omega) + \Delta S, \Delta S \geq 0, S_j \geq 0, j = \overline{1, J}, l = \overline{1, L}\}.$$

Заметим, что если сократить количество объектов природной среды, качество которых подлежит улучшению, то возможно задача (3) даст значение $y^0 \geq 1$.

Предположим, что решение задачи (5) существует и дает минимальный объем средств $S_{cor} = S^0(\overline{\Phi}^0, \omega^0) + \Delta S^0$ необходимый для обеспечения уровня качества природоохранных объектов не ниже предельно допустимого.

Пусть $S_{\max}$ - максимальный объем средств, который центр управления региона может выделить предприятию на природоохранную деятельность за счет системы выплат (штрафов) и федеральных средств. Тогда, при $\Delta S^0 \in [0; S_{\max}]$ задача для центра решена. Если $\Delta S^0 > S_{\max}$, то, последовательно исключая из рассмотрения менее загрязненные объекты, добиваются выполнения условия $\Delta S^0 \in [0; S_{\max}]$.

Другой подход связан с понятием индекса напряженности распределения средств.

2. Задача максимального приближения к предельно допустимому уровню качества окружающей среды при отсутствии необходимого объема средств

Рассмотрим теперь ситуацию, когда решение задачи (3) дает значение $y^0 < 1$ и подход, связанный с коррекцией средств не дает в решении $y^0 = 1$. Такая ситуация может возникнуть при недостаточном количестве средств $S_{\max}$. Для того, чтобы задача (2) для центра управления региона была разрешима, целесообразно в данной ситуации ослабить ограничения по качеству природоохранных объектов.

Вместо требований $\varphi_{jl}(S_j) \ge \varphi^*_{jl}$, $j = \overline{1,J}, l = \overline{1,L}$ запишем ограничения

(6) $\qquad \varphi_{jl}(S_j) \ge \lambda \varphi^*_{jl}$, $j = \overline{1,J}, l = \overline{1,L}$,

где $\lambda \ge 0$ - параметр.

При $\lambda = 0$ любое распределение $(S_1,...,S_J), \sum_{j=1}^{J} S_j \le S^0(\overline{\Phi},\omega) + S_{\max}, S_j \ge 0, j = \overline{1,J}$ удовлетворяет ограничениям (6) для любой фиксированной стратегии центра $(\overline{\Phi},\omega)$. При $\lambda \ge 1$ система (6) всегда несовместна.

Множество допустимых относительно ограничений (6) распределений $(S_1,...,S_J), \sum_{j=1}^{J} S_j \le S^0(\overline{\Phi},\omega) + S_{\max}, S_j \ge 0, j = \overline{1,J}$ обозначим X_λ. Максимальное значение λ_0 для параметра λ, обеспечивающее совместность ограничений (6), то есть свойство $X_\lambda \ne \varnothing$ является показателем *предельной напряженности* ограничений (6). Если система ограничений задачи (2) противоречива, то $0 \le \lambda_0 < 1$. Распределение средств

$(S_1,...,S_J), \sum_{j=1}^{J} S_j \le S^0(\overline{\Phi},\omega) + S_{\max}, S_j \ge 0, j = \overline{1,J}$, удовлетворяющее (6) при $\lambda = \lambda_0$ будет *предельно напряженным* [11]. Отыскание предельно напряженного распределения средств сводится к следующей задаче для центра

(7) $$\alpha \sum_{m=1}^{M} \delta_m X_m(\overline{\Phi}, Y - S^0(\overline{\Phi}, \omega)) + (1-\alpha)E\lambda \to \max_{(\overline{\Phi}, \omega, \lambda) \in U_\lambda},$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U_\lambda = \{(\overline{\Phi}, \omega, \lambda) \mid \overline{\Phi} \in \prod_{k=1}^{K} [0; \Phi_k], \omega \in \Omega, \varphi_{jl}(S_j) \ge \lambda \varphi^*_{jl},$$

$$\sum_{j=1}^{J} S_j \le S^0(\overline{\Phi}, \omega) + S_{\max}, S_j \ge 0, j = \overline{1, J}, l = \overline{1, L}, 0 \le \lambda < 1\}.$$

Таким образом, решая задачу увеличения налоговых отчислений с предприятия, центр стремиться максимально приблизиться к предельно допустимому уровню качества окружающей природной среды, определенному согласно нормативам, с тем, чтобы экономическая эффективность мероприятий по повышению уровня качества окружающей среды принимала по возможности большее значение.

Рассмотрим другой подход отыскания предельно напряженного распределения средств.

Сформируем вектор $(\lambda_1, ..., \lambda_J)$, где $\lambda_j = \dfrac{\varphi_{jl}(S_j)}{\varphi^*_{jl}}$, $j = \overline{1, J}$.

Число $\tilde{\lambda} = \min\limits_j \lambda_j$ представляет собой *показатель напряженности* распределения средств $(S_1, ..., S_J)$, $\sum_{j=1}^{J} S_j \le S^0(\overline{\Phi}, \omega) + S_{\max}$, $S_j \ge 0$, $j = \overline{1, J}$. Показатель предельной напряженности λ_0 ограничений (6) и $\tilde{\lambda}$ связаны неравенством $\lambda_0 \ge \tilde{\lambda}$. Степень напряженности распределения средств характеризуется степенью близости показателя $\tilde{\lambda}$ к λ_0, что может быть выражено индексом напряженности $\hat{\lambda} = \dfrac{\tilde{\lambda}}{\lambda_0}$, $\hat{\lambda} \le 1$. При $\hat{\lambda} = 1$ распределения средств

$(S_1,...,S_J),\ \sum_{j=1}^{J} S_j \le S^0(\overline{\Phi},\omega) + S_{\max},\ S_j \ge 0,\ j=\overline{1,J}$ будет предельно напряженным.

Выбор индекса напряженности центром связан, например, с анализом влияния отрицательных изменений состояния природных ресурсов на здоровье населения. Чем больше страдает население от негативного воздействия, обусловленного изменениями в окружающей природной среде, тем индекс напряженности может быть выше, ближе к единице.

Нахождения оптимальной стратегии $(\overline{\Phi},\omega)$ для центра с индексом напряженности $\hat{\lambda}$ не меньшим γ приводит к задаче

$$\sum_{m=1}^{M} \delta_m X_m(\overline{\Phi}, Y - S^0(\overline{\Phi},\omega)) \to \max_{(\overline{\Phi},\omega)\in U_\gamma}, \tag{8}$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U_\gamma = \{(\overline{\Phi},\omega) \,|\, \overline{\Phi} \in \prod_{k=1}^{K} [0;\Phi_k],\omega\in\Omega, \varphi_{jl}(S_j) \ge \gamma\lambda_0\varphi^*_{jl},$$

$$\sum_{j=1}^{J} S_j \le S^0(\overline{\Phi},\omega) + S_{\max}, S_j \ge 0, j=\overline{1,J}, l=\overline{1,L}\},$$

показатель предельной напряженности λ_0 получен из решения задачи (7).

3. Природоохранная деятельность N предприятий

Допустим, что имеется N предприятий, использующих или загрязняющих природные ресурсы.

Пусть каждое предприятие, имеющее в распоряжении средства в размере Y_i, $i=\overline{1,N}$, может тратить их как на развитие своего предприятия, так и осуществлять дополнительные вложения в природоохранные мероприятия в размере S_i, $i=\overline{1,N}$. Предположим, что i-ое предприятие выпускает M_i видов продукции $i=\overline{1,N}$.

Прибыль i-го предприятия обозначим $\Pi_i(\overline{\Phi}_i, Y_i - S_i)$, где $\overline{\Phi}_i = (\Phi_{i1},...,\Phi_{iK})$ - выделяемые центром природные ресурсы (вода, лесные угодья) или дефицитные ресурсы (газ, электроэнергия) для i-го предприятия. Центр заранее сообщает каждому предприятию величину $\overline{\Phi_i} \in \prod_{k=1}^{K} [0, \Phi_{ik}]$, Φ_{ik} - максимально возможный объем k-го ресурса для i-го предприятия.

Система выплат за использование или загрязнение ресурсов известна в виде непрерывной функции $\psi(\sum_{i=1}^{N} S_i, \omega)$ такой, что $\forall \omega \in \Omega \quad \psi(S_\Sigma, \omega) > 0, \quad \psi'_{S_\Sigma}(S_\Sigma, \omega) < 0, \quad \psi''_{S_\Sigma}(S_\Sigma, \omega) > 0,$ $\lim\limits_{S_\Sigma \to \infty} \psi(S_\Sigma, \omega) = 0$, $\psi(0, \omega) = \psi_o$,

где $S_\Sigma = \sum_{i=1}^{N} S_i$.

При этом центр, наряду с величиной ω, сообщает, что плата за использование или загрязнение ресурсов каждым предприятием пропорциональна значению $\psi(\sum_{i=1}^{N} S_i, \omega)$ с коэффициентом пропорциональности β_i:

(9) $$\psi_i(S_1, ..., S_N, \omega) = \beta_i \cdot \psi(\sum_{i=1}^{N} S_i, \omega), \; i = \overline{1, N}.$$

При этом выполняется условие

(10) $$\beta_i \geq 0, \; i = \overline{1, N}, \; \sum_{i=1}^{N} \beta_i = 1.$$

Поскольку плата за использование ресурсов осуществляется тогда, когда становится известен оптимальный выпуск каждого предприятия, то система выплат предприятия ψ_i (или ω) за использование ресурсов заранее сообщается производителю.

Тогда, стратегией центра управления региона является вектор $(\overline{\Phi}^*, \omega)$, где $\overline{\Phi}^* = (\overline{\Phi_1}, ..., \overline{\Phi_N})$.

Таким образом, складывается ситуация, в которой игроки нижнего уровня (предприятия) стремятся увеличить свои функции прибыли с учетом платы за использование ресурсов: $\forall i = \overline{1, N}$

(11) $\Pi_i(\overline{\Phi}^*, \omega, S_1, ..., S_N) = \sum_{m_i=1}^{M_i} p_{im_i} X_{im_i}(\overline{\Phi}_i, Y_i - S_i) - C_i(\overline{\Phi}_i, Y_i - S_i) - \psi_i(S_1, ..., S_N, \omega) \to \max_{S_i \in [0, Y_i]}$.

Постановка задачи для подсистем (предприятий) двухуровневой иерархической игры привела к бескоалиционной игре вида

(12) $\Gamma_N = \{V_1, ..., V_N, \Pi_1(\overline{\Phi}^*, \omega, S_1, ..., S_N), ..., \Pi_N(\overline{\Phi}^*, \omega, S_1, ..., S_N)\}$,

где $V_i = \{S_i | 0 \le S_i \le Y_i\}$ - множество стратегий *i*-го игрока (предприятия) в игре (12), $\Pi_i(\overline{\Phi}^*, \omega, S_1, ..., S_N)$ - функции выигрыша *i*-го игрока.

Решение бескоалиционных игр основывается на понятии ситуации равновесия.

Определение: Ситуация $(S_1^0, ..., S_N^0)$ называется ситуацией (точкой) равновесия (в чистых стратегиях) в бескоалиционной игре Γ_N, если $\forall S_i \in V_i$, $i = \overline{1, N}$:

(13) $\Pi_i(\overline{\Phi}^*, \omega, S_1^0, ..., S_{i-1}^0, S_i^0, S_{i+1}^0, ..., S_N^0) \ge \Pi_i(\overline{\Phi}^*, \omega, S_1^0, ..., S_{i-1}^0, S_i, S_{i+1}^0, ..., S_N^0)$.

Функции выигрыша являются вогнутыми в силу сделанных предположений относительно функции выпуска, издержек и функции, определяющей систему выплат. Поэтому решение игры (12) при фиксированных $\overline{\Phi}^* = (\Phi_1, ..., \Phi_N)$ и ω дает ситуацию равновесия в чистых стратегиях $\overline{S}^0(\overline{\Phi}^*, \omega) = (S_1^0(\overline{\Phi}^*, \omega), ..., S_N^0(\overline{\Phi}^*, \omega))$, которая представляет собой вектор управлений подсистем двухуровневой иерархической игры.

Качество *j*-го объекта окружающей среды зависит теперь от совместных вложений средств всех предприятий на восстановление *j*-го объекта, то есть $\varphi_j(\sum_{i=1}^{N} S_{ij})$, $j = \overline{1, J}$. Центр, контролируя качество окружающей среды региона, стремится к увеличению налоговых отчислений с предприятий и экономической эффективности мероприятий по повышению уровня качества окружающей среды. Таким образом, задача центра имеет вид

$$(14)\quad \alpha\sum_{i=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\delta_{im_i}X_{im_i}(\overline{\Phi}_i, Y_i - S_i^0(\overline{\Phi}^*,\omega)) + (1-\alpha)Ey \to \max_{(\overline{\Phi}^*,\omega,y)\in U^*},$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U^* = \{(\overline{\Phi}^*,\omega,y) \mid \overline{\Phi}_i \in \prod_{k=1}^{K}[0;\Phi_{ik}], i=\overline{1,N}, \omega\in\Omega, \varphi_{jl}(S_j) \ge y\varphi_{jl}^*,$$

$$\sum_{j=1}^{J}S_j \le S_i^0(\overline{\Phi}^*,\omega), \sum_{i=1}^{N}S_{ij} = S_j, S_j \ge 0, j=\overline{1,J}, l=\overline{1,L}\},$$

$\delta_{im_i} = \delta\pi_{im_i}$, π_{im_i} - прибыль с единицы продукции m_i-го вида i-го предприятия, δ - величина налога, взимаемого с прибыли.

При этом выполняется соотношение $\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}S_{ij} = \sum_{j=1}^{J}S_j \le \sum_{i=1}^{N}S_i^0(\overline{\Phi}^*,\omega)$.

Рассмотрим ситуацию, когда решение задачи (14) $(\overline{\Phi}^{*0},\omega^0,y^0)$ дает значение $y^0<1$, то есть средств $\sum_{i=1}^{N}S_i^0(\overline{\Phi}^{*0},\omega^0)$, недостаточно для того, чтобы показатели качества для каждого природоохранного объекта были не ниже предельно допустимых.

Задача распределения средств между объектами окружающей среды с минимальной корректировкой величин $S_i^0(\overline{\Phi}^{*0},\omega^0)$, $\forall i=\overline{1,N}$ примет вид

$$(15)\quad \sum_{i=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\delta_{im_i}X_{im_i}(\overline{\Phi}_i, Y_i - S_i^0(\overline{\Phi}^*,\omega)) - \sum_{i=1}^{N}\Delta S_i \to \max_{(\overline{\Phi}^*,\omega,\Delta\overline{S})\in U_{\Delta\overline{S}}},$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U_{\Delta\overline{S}} = \{(\overline{\Phi}^*,\omega,\Delta\overline{S}) \mid \overline{\Phi}_i \in \prod_{k=1}^{K}[0;\Phi_{ik}], \omega\in\Omega, \varphi_{jl}(S_j) \ge \varphi_{jl}^*,$$

$$\sum_{j=1}^{J}S_j \le S_i^0(\overline{\Phi}^*,\omega) + \Delta S_i, \sum_{i=1}^{N}S_{ij} = S_j, S_j \ge 0, \Delta S_i \ge 0, i=\overline{1,N}, j=\overline{1,J}, l=\overline{1,L}\},$$

$$\Delta\overline{S} = (\Delta S_1,\dots,\Delta S_N).$$

Особенностью задачи (15) является то, что варьированию могут подвергаться не все $S_i^0 \quad \forall i = \overline{1,N}$, а, например, те S_i^0, которые соответствуют предприятиям, например, с относительно большим объемом выпуска продукции и/или с наиболее вредными производствами, и/или значительными выбросами загрязняющих веществ. То есть, задают систему приоритетов в виде некоторой функции, зависящей от ряда важных, по мнению эксперта, показателей работы предприятия [1], [2]:

(16) $$\pi_i = f(\xi_{i1},...,\xi_{iP}), i = \overline{1,N},$$

где ξ_{ip}, $p = \overline{1,P}$ - показатели работы i-го предприятия, $i = \overline{1,N}$; $f(\xi_{i1},...,\xi_{iP})$ - гладкая функция, определяющая приоритет каждого предприятия, $\dfrac{\partial f(\xi_1,...,\xi_P)}{\partial \xi_p} > 0,\ p = \overline{1,P}$. Далее, эксперт указывает значение π^* функции приоритета такое, что если $\pi_i \geq \pi^*$, то $S_i^0(\overline{\Phi}^{*0}, \omega^0)$ подвергается коррекции:

(17) $$\sum_{i=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\delta_{im_i} X_{im_i}(\overline{\Phi}_i, Y_i - S_i^0(\overline{\Phi}^*, \omega)) - \sum_{\{i|\pi_i \geq \pi^*\}} \Delta S_i \to \max_{(\overline{\Phi}^*, \omega, \Delta\overline{S}) \in U_\pi},$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U_\pi = \{(\overline{\Phi}^*, \omega, \Delta\overline{S}) \mid \overline{\Phi}_i \in \prod_{k=1}^{K}[0;\Phi_{ik}], \omega \in \Omega, \varphi_{jl}(S_j) \geq \varphi_{jl}^*, \sum_{i=1}^{N} S_{ij} = S_j, S_j \geq 0,$$

$$\Delta S_i \geq 0, \sum_{j=1}^{J} S_j \leq S_i^0(\overline{\Phi}^*, \omega) + \begin{cases} \Delta S_i, \ \pi_i \geq \pi^* \\ 0, \ \pi_i < \pi^* \end{cases}, i = \overline{1,N}, j = \overline{1,J}, l = \overline{1,L}\}.$$

Если у центра имеются ограничения в средствах и $\sum_{i=1}^{N} \Delta S_i \notin [0; S_{\max}]$, то либо последовательно сокращают число рассматриваемых природоохранных объектов, либо реализуют подход, связанный с введением показателя предельной напряженности и индекса напряженности. Так, например, отыскание предельно напряженного распределения средств сводится к следующей задаче для центра

(18) $$\alpha\sum_{i=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\delta_{im_i}X_{im_i}(\overline{\Phi}_i, Y_i - S_i^0(\overline{\Phi}^*,\omega)) + (1-\alpha)E\lambda \to \max_{(\overline{\Phi}*,\omega,\lambda)\in U_\lambda^*},$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U_\lambda^* = \{(\overline{\Phi}^*,\omega,\lambda) \mid \overline{\Phi}_i \in \prod_{k=1}^{K}[0;\Phi_{ik}], i=\overline{1,N}, \omega\in\Omega, \varphi_{jl}(S_j)\ge\lambda\varphi_{jl}^*,$$

$$\sum_{j=1}^{J}S_j \le S_i^0(\overline{\Phi}^*,\omega)+\Delta S_i, \sum_{i=1}^{N}S_{ij}=S_j, S_j\ge 0, \sum_{i=1}^{N}\Delta S_i = S_{\max}, j=\overline{1,J}, l=\overline{1,L}, 0\le\lambda<1\}.$$

Аналогично (8) определяется стратегия центра $(\overline{\Phi}^*,\omega)$ с индексом напряженности $\hat{\lambda}$ не меньшим γ:

(19) $$\sum_{i=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\delta_{im_i}X_{im_i}(\overline{\Phi}_i, Y_i - S_i^0(\overline{\Phi}^*,\omega)) \to \max_{(\overline{\Phi}*,\omega)\in U_\gamma^*},$$

где множество допустимых управлений центра есть

$$U_\gamma^* = \{(\overline{\Phi}^*,\omega) \mid \overline{\Phi}_i \in \prod_{k=1}^{K}[0;\Phi_{ik}], i=\overline{1,N}, \omega\in\Omega, \varphi_{jl}(S_j)\ge\gamma\lambda_0\varphi_{jl}^*,$$

$$\sum_{j=1}^{J}S_j \le S_i^0(\overline{\Phi}^*,\omega)+\Delta S_i, \sum_{i=1}^{N}S_{ij}=S_j, S_j\ge 0, \sum_{i=1}^{N}\Delta S_i = S_{\max}, j=\overline{1,J}, l=\overline{1,L}\},$$

где показатель предельной напряженности λ_0 получен из решения задачи (18).

Таким образом, путем преобразований моделируемого объекта (то есть формализованных в модели параметров), которые позволяют наиболее рациональным путем, с наименьшими затратами перестроить его таким образом, чтобы система ограничений стала непротиворечивой, добиваются решения поставленных эколого-экономических задач.

Литература

1. БУРКОВ В.Н., ГОРГИДЗЕ И.И., НОВИКОВ Д.А., ЮСУПОВ Б.С. *Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике*. М.: ИПУ, 1997, 59 с.
2. БУРКОВ В.Н., НОВИКОВ Д.А. *Как управлять проектами.* М.: НПО «СИНТЕГ»: ИЧП «Гео», 1997. – 188 с.

3. БУРКОВ В.Н., ЩЕПКИН А.В. *Экологическая безопасность*. М.: ИПУ, 2003, 90 с.
4. ВАСИЛЬЕВ Ф.П. *Методы оптимизации*. – М.: Факториал Пресс, 2002. – 823 с.
5. ГЛУХОВ В.В., НЕКРАСОВА Т.П. *Экономические основы экологии*. – СПб., Питер, 2003. – 383 с.
6. ГОРЕЛИК В.А. *Матричная коррекция задачи линейного программирования с несовместной системой ограничений* // Журн. вычисл. матем. и матем. физ.2001. Т. 41. № 11. С. 1607 – 1705.
7. ГОРЕЛИК В.А., ГОРЕЛОВ М.А., КОНОНЕНКО А.Ф. *Анализ конфликтных ситуаций в системах управления*. – М.: Радио и связь, 1991. – 286 с.
8. ГОРЕЛИК В.А., ЕРОХИН В.И., ПЕЧЕНКИН Р.В. *Численные методы коррекции несобственных задач линейного программирования и структурных систем уравнений*. М.: ВЦ РАН, 2006. 150 с.
9. ГОРЕЛИК В.А., КОНОНЕНКО А.Ф. *Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах.* – М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.
10. ГОРЕЛИК В.А., ФОМИНА Т.П. *Экстремальные задачи*: Учебное пособие/ Моск. пед. гос. ун-т, Липец. гос. пед. ун-т, Москва, 2001. – 146 с.
11. ЕРЕМИН И.И. *Противоречивые модели оптимального планирования*. – М.: Наука, 1988. – 159 с.
12. ЕРЕМИН И.И., МАЗУРОВ В.Д., Астафьев Н.Н. *Несобственные задачи линейного и выпуклого программирования*. – М.: Наука, 1983. – 336 с.
13. МОИСЕЕВ Н.Н. *Модели экологии и эволюции*. – М.: Знание, 1983 – 63 с.
14. МОИСЕЕВ Н.Н. *Человек и ноосфера*. – М.: Мол.гвардия, 1990. – 351 с.
15. МОИСЕЕВ Н.Н. *Экология человечества глазами математика: (Человек, природа, будущее цивилизации)*. – М.: Мол.гвардия, 1988. – 251 с.
16. МОИСЕЕВ Н.Н., АЛЕКСАНДРОВ В.В., ТАРКО А.М. *Человек и биосфера.* – М.: Наука, 1985. - 271 с.

17. МОСКАЛЕНКО А. П. *Экономика природопользования и охраны окружающей среды*: Учебное пособие. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов-н/Д: Издательский центр «МарТ», 2003. – 217 с.
18. ФРОЛОВ В.Н., ВАТОЛИН А.А. *Анализ противоречивых ситуаций в задачах текущего планирования производства* // Противоречивые модели оптимизации. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. С. 79-92.

Работа посмотрена и одобрена д. физ-мат наук, профессором Кононенко А.Ф.