

О.П. Бурматова

МОДЕЛЬ ВЫБОРА ВАРИАНТА ХОЗЯЙСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ В РЕГИОНЕ С УЧЁТОМ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Решение проблем социально-экономического развития территорий с учётом экологических аспектов в значительной степени усложняется тем, что каждый отдельно взятый регион обладает множеством особенностей и индивидуальных характеристик, без учёта которых невозможно сформировать систему взаимосвязанных природоохранных мероприятий, осуществление которых необходимо для достижения желаемых целей и задач развития соответствующего региона.

Одним из инструментов подготовки информационной базы для формирования и корректировки путей выбора вариантов хозяйственных решений с учётом их возможных экологических последствий могут служить территориальные экономико-математические модели, позволяющие не только достаточно полно учитывать специфические условия регионов, но и генерировать множество вариантов их развития, получать ориентировочную информацию об эффективности того или иного варианта регионального развития и выбирать наиболее эффективный вариант с позиций преследуемых целей.

В Институте экономики и организации промышленного производства СО РАН накоплен опыт исследований по разработке подхода к прогнозированию влияния фактора охраны окружающей среды на формирование региональных хозяйственных комплексов. Суть данного подхода коротко сводится к разработке территориальных моделей, включающих специальный блок условий, отражающих экологические требования. При этом хозяйство, население и природная среда рассматриваются совместно как взаимосвязанные элементы единой территориально-производственной системы. Использование таких моделей позволяет определить экологические возможности выполнения заданной производственной программы в том или ином регионе и, соответственно, выявлять те направления и масштабы природоохранной деятельности (и связанные с ней затраты), которые обеспечивают соблюдение требований рационализации природопользования.

Для осуществления прогнозных исследований и прикладных расчётов по определению возможных изменений в состоянии окружающей природной среды региона предложен модельный аппарат по анализу эколого-экономических взаимосвязей, возникающих при формировании региональных хозяйственных систем¹. Данный аппарат прошёл практическую реализацию на материалах отдельных регионов Сибири.

¹ **Бурматова О.П.** Инструментарий оптимизации природоохранной деятельности при прогнозировании развития экономики региона. Препринт. – Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2009. – 76 с.; **Бурматова О.П.** Влияние хозяйственной деятельности на состояние водного бассейна: моделирование и анализ результатов // Вестник НГУЭУ. – 2014. – № 2. – С. 213–232; **Бурматова О.П.** Реализация инвестиционных проектов в регионе с позиций экологического императива (на примере Нижнего Приангарья) // Проблемы управления социально-экономическим развитием регионов Сибири / под ред. А.С. Новоселова. – Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2013. – С. 269–284.

Основные направления исследований в рамках данного экономико-математического аппарата предусматривают:

- 1) разработку блоков тех или иных условий по охране окружающей среды в составе территориальных моделей внутрирегионального развития;
- 2) выбор системы природоохранных мероприятий при формировании специфических хозяйственных комплексов (например, топливно-энергетического, лесопромышленного и др.);
- 3) организацию рационального использования и охраны отдельных элементов природной среды, включая земельные ресурсы, водный бассейн и атмосферу (в данном случае объектом исследования выступают те или иные элементы природной среды с более детальным отражением вопросов их использования и охраны);
- 4) учёт фактора здоровья людей на основе установления количественных зависимостей между заболеваемостью и состоянием окружающей природной среды (включая, с одной стороны, специфические местные климатические условия – атмосферное давление и температуру воздуха и, с другой стороны, загрязнение атмосферы);
- 5) анализ экологических последствий создания крупных инженерных сооружений (гидроузлов с водохранилищами, прудов-охладителей и др.).

Разработанный экономико-математический аппарат предназначен в целом для комплексного эколого-экономического анализа последствий реализации хозяйственных решений в регионе. Его использование позволяет решать, в частности, такие задачи, как

- ♦ прогнозирование уровня загрязнения воздушной и водной среды в зависимости от предполагаемых направлений и масштабов развития хозяйства в том или ином регионе или промышленном узле;
- ♦ обеспечение рационального использования и охраны водных ресурсов;
- ♦ борьба с загрязнением атмосферного воздуха с учётом анализа распространения загрязнений в атмосфере от различных источников выбросов;
- ♦ определение экологически допустимых масштабов территориальной концентрации производства;
- ♦ выбор варианта системы природоохранных мероприятий в условиях заданных экологических и экономических ограничений;
- ♦ выявление влияния на формирование производственной структуры промышленных узлов ряда специфических экологических факторов, таких, например, как накопление загрязнений в водоёмах и атмосфере; естественный перенос вредных веществ по течению водотоков; характер распространения загрязнений в атмосфере от источников выбросов с учётом местных природно-климатических условий;
- ♦ анализ экологических последствий привнесения в природную среду искусственных объектов типа прудов-охладителей, отвалов, разрезов, гидроузлов с водохранилищами и т.д.;
- ♦ организация утилизации отходов разного вида;
- ♦ проведение рекультивации нарушенных горными разработками земель;
- ♦ учёт взаимосвязей состояния природной среды и здоровья людей при прогнозировании формирования промышленных узлов на базе крупных топливно-энергетических объектов;

♦ определение возможного и фактического экономического ущерба от осуществления хозяйственной деятельности в регионе и др.

В составе названного модельного аппарата можно с определённой степенью условности выделить три группы моделей, отражающих различные аспекты региональных экологических проблем (рис. 1).

Первая группа охватывает модели, характеризующиеся включением экологических блоков в модели формирования территориально-производственных систем (региональных хозяйственных комплексов, промышленных узлов и их агломераций). В таких моделях экономические и экологические цели развития региона рассматриваются на паритетных началах. Основной предмет исследования связан с прогнозированием уровня загрязнения окружающей среды. Приоритетное внимание уделяется анализу комплекса проблем экологического регулирования экономического развития, включая выбор варианта системы природоохранных мероприятий, формирование желаемой экологической ситуации в регионе и др.

Вторая группа моделей ориентирована преимущественно на выбор варианта хозяйственных решений с учётом их экологических последствий. В данных моделях акценты делаются на отражении различных экологических аспектов хозяйственной деятельности в пределах региона. При этом экономические условия рассматриваются в значительной мере как экзогенные параметры, определяющие характер природоохранной деятельности в том или ином регионе. В данном случае происходит смещение акцентов на детальное представление различных эколого-экономических взаимосвязей в регионе, включая учёт специфики природоохранных аспектов формирования объектов различных отраслевых и межотраслевых комплексов (лесохимического, топливно-энергетического и др.), уточнение производственной структуры региона с позиций её экологической допустимости, минимизацию экологических потерь от осуществления хозяйственной деятельности и др.

Третья группа моделей предназначена для более подробного анализа отдельных экологических проблем, представляющих интерес в том или ином регионе. Среди таких проблем могут быть рекультивация нарушенных земель, утилизация отходов, использование и охрана водных ресурсов и др.

Предложенная группировка моделей, как указывалось, носит во многом условный характер, поскольку в зависимости от целей исследования одни и те же проблемы могут находить отражение в моделях разных групп, однако степень их детализации и характер представления могут быть различными.

Практическое приложение данных моделей было осуществлено на материалах ряда регионов Сибири в пределах Красноярского края (западная часть КАТЭКа, Нижнее Приангарье, а также ряд промышленных узлов – Шарыповского, Лесосибирского, Козьмодемьянского, Богучанского и др.).

В качестве примера одного из элементов охарактеризованного аппарата по анализу эколого-экономических взаимосвязей, возникающих при формировании экономики региона, ниже приведена модель выбора варианта хозяйственных решений в регионе с учётом их экологических последствий. На основе использования предложенной модели ставится задача – проанализировать влияние включённых в рассмотрение факторов на выбор экологически приемлемых хозяйственных решений с учётом возможных негативных последствий от сооружения производственных объектов различных отраслей экономики региона (на примере Нижнего Приангарья).



Рис. 1. Структура модельного аппарата по анализу эколого-экономических взаимосвязей, возникающих при формировании региональных хозяйственных систем

Экономико-математическая модель, предлагаемая для решения соответствующей задачи, включает следующие группы условий и ограничений:

- 1) выбор одного варианта технологий из множества возможных, рассматриваемых для каждого из предполагаемых к созданию промышленных предприятий;
- 2) выполнение задания на выпуск продукции предприятиями региона;
- 3) выбор необходимого числа предприятий, обеспечивающих заданный объём производства той или иной промышленной продукции;
- 4) создание ГЭС по одному из трёх возможных вариантов нормального подпорного уровня (НПУ) водохранилища;
- 5) определение возможного уровня загрязнения воды на выделенных участках р. Ангары с учётом факторов накопления и естественного переноса загрязняющих веществ, а также с учётом создания водохранилища определённого НПУ;
- 6) формирование уровня загрязнения атмосферы в каждой из исследуемых частей региона с учётом условий рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе;
- 7) образование объёмов сверхнормативного выхода загрязняющих веществ со сточными водами и пылегазовыми выбросами рассматриваемых производственных объектов;
- 8) ограничения на выход в атмосферу комбинаций ряда вредных веществ;
- 9) определение суммарной величины экономического ущерба, наносимого загрязнением водоёмов и атмосферы в выделенных промузлах;
- 10) формирование величины платы за сверхнормативный выход загрязняющих веществ в окружающую среду региона;
- 11) формирование совокупных потерь, связанных с созданием водохранилищ в результате гидроэнергетического строительства, в соответствии с выбираемым вариантом отметки нормального подпорного уровня;
- 12) ограничения на лимит инвестиций, направляемых на осуществление природоохранных мероприятий в выделенных частях региона.

Ниже приводится экономико-математическая запись условий модели.

Требуется найти неотрицательные значения переменных x_{jk}^r ($j \in J_1$), P_{qk}^t , Y_{gk}^t , ΔP_{qk}^t , ΔY_{gk}^t , U_k^t , V_k^t , ϕ_k^t , S_{jk}^t , z_{jk}^n ($j \in J_2$), удовлетворяющих следующим группам условий и ограничений.

1. Выбор одного варианта технологий:

$$\sum_k \sum_r x_{jk}^r \leq 1, \quad (\forall j \in J_1), \quad (1)$$

$$x_{jk}^r = \begin{cases} 1, & \text{если выбирается вариант } r. \\ 0 & - \text{ в противном случае} \end{cases}$$

Здесь x_{jk}^r – интенсивность функционирования варианта r объекта j в промузле k ; $j \in J_1$, где J_1 – множество промышленных предприятий.

2. Создание ГЭС по одному из вариантов нормального подпорного уровня водохранилища:

$$\sum_n z_{jk}^n = 1, \quad (\forall j \in J_2, k), \quad (2)$$

$$Z_{jk}^n = \begin{cases} 1, & \text{если выбирается вариант } n \\ 0 & - \text{ в противном случае} \end{cases}.$$

Здесь Z_{jk}^n – интенсивность функционирования варианта НПУ n водохранилища ГЭС j , размещаемой в ареале k ; $j \in J_2$, где J_2 – множество гидроэлектростанций.

3. Выполнение задания на выпуск продукции экологически значимыми предприятиями в зависимости от их мощности:

$$\sum_{j \in J_1} \sum_k \sum_r a_{ij}^{rt} x_{jk}^r = B_i^t \quad (\forall i, t), \quad (3)$$

где a_{ij}^{rt} – объём производства продукции вида i на предприятии j по варианту r в период времени t (здесь варианты r отражают различную производственную мощность на потенциально экологически опасных предприятиях);

B_i^t – задание на выпуск продукции i на конец периода t .

4. Формирование уровня загрязнения водоёмов:

$$P_{qk}^m - (1 - \beta_{qk}^n)^{\tau_t} P_{qk}^{(t-1)n} - \sum_{j \in J_1} \sum_r E_{qj}^{rt} x_{jk}^r - \sum_{k'} F_{qk'k}^m + F_{qkk''}^m = D_{qk}^t \quad (\forall q, k, k'', t, n), \quad (4)$$

где P_{qk}^m – объём сброса загрязнения вида q в ареале k в период времени t при создании водохранилища по варианту НПУ n ;

β_{qk}^n – коэффициент естественного разложения загрязнения вида q в водной среде ареала k в течение года при создании водохранилища по варианту НПУ n ;

τ_t – продолжительность периода t ;

E_{qj}^{rt} – сброс вещества q в водную среду при функционировании предприятия j по варианту r в период t ;

D_{qk}^t – объём выхода вещества q в бытовых сточных водах ареала k на конец периода t (задаётся экзогенно);

$F_{qk'k}^m (F_{qkk''}^m)$ – объём поступления (выноса) загрязнения вида q в ареал k (из ареала k') (из ареала k'') в результате естественного переноса веществ. Объёмы переноса загрязнений между соседними промузлами определяются в соответствии с моделью Фелпса-Стритера при создании водохранилища на участке kk' ($k''k$) по варианту НПУ n :

$$F_{qk'k}^m = \alpha_{qk'k}^n P_{qk'}^m; \quad (5)$$

$$F_{qkk''}^m = \alpha_{qkk''}^n P_{qk}^m. \quad (6)$$

Здесь $\alpha_{qk'k}^n (\alpha_{qkk''}^n)$ – степень разложения вещества q на участке реки от узла k' до k (от k до k'') при создании водохранилища на соответствующем участке по варианту НПУ n .

$$\alpha_{qk'k}^n = 10^{-k_q P_{k'k}^n},$$

где k_q – константа скорости окисления вещества q ($k_q > 0$ – для неконсервативных органических веществ);

$\rho_{k'k}^n$ – время окисления вещества на участке от k' до k (или время движения воды реки от створа k' до створа k); $\rho_{k'k} = R_{k'k} / V$, где $R_{k'k}$ – расстояние между k' и k ; V – средняя скорость течения реки.

С учётом условий (5) и (6) условие (4) примет вид:

$$(1 + \alpha_{qkk'})P_{qk}^t - \sum_{k'} a_{qk'k} P_{qk'}^t - (1 - \beta_{qk})^{\tau_t} P_{qk}^{t-1} - \sum_{j \in J_1} \sum_r E_{qj}^{rt} x_{jk}^r = D_{qk}^t \quad (\forall q, k, k'', t). \quad (4a)$$

5. Формирование уровня загрязнения атмосферы:

$$Y_{gk}^t - (1 - \gamma_{gk})^{\tau_t} Y_{gk}^{t-1} - \sum_{j \in J} \sum_r A_{gj}^{rt} x_{jk}^r = 0 \quad (\forall g, k, t), \quad (7)$$

где Y_{gk}^t – уровень загрязнения атмосферы ареала k веществом g в период времени t ;

γ_{gk} – коэффициент, характеризующий рассеивание вещества g в атмосфере ареала k ;

A_{gj}^{rt} – выброс вредного вещества g в атмосферу при функционировании объекта j по варианту r в период времени t .

6. Формирование сверхнормативных объёмов выхода загрязнений:

а) в водную среду:

$$P_{qk}^t - \Delta P_{qk}^t \leq (G_q^l / k^l) R_k^t \quad (\forall q, l, k, t); \quad (8)$$

б) в атмосферу:

$$Y_{gk}^t - \Delta Y_{gk}^t \leq H_{gk}^t \quad (\forall g, k, t), \quad (9)$$

где ΔP_{qk}^t (ΔY_{gk}^t) – объём сверхнормативного выхода загрязнения вида q (g) в водную (воздушную) среду ареала k в период t ;

G_q^l – ПДК вещества q , относящегося к лимитирующему признаку вредности (ЛПВ) l ;

k^l – число вредных веществ, относящихся к одному ЛПВ l ;

R_k^t – расход воды в источнике на участке k на конец периода t (с учётом водопотребления действующих производств и населения);

H_{gk}^t – норматив выброса вещества g в атмосферу ареала k на конец периода t .

7. Ограничения на выход в атмосферу комбинаций вредных веществ:

$$\sum_{g \in Q} \sum_{j \in J_1} \sum_r \frac{c_{gj}^{rt} x_{jk}^r}{G_g} \leq 1 \quad (\forall k, t), \quad (10)$$

где c_{gj}^{rt} – конечная концентрация вещества g , содержащегося в выбросах предприятия j при функционировании его по варианту r в период t ;

G_g – ПДК вещества g в атмосферном воздухе; $g \leq Q$, Q – множество комбинаций вредных веществ, обладающих эффектом суммации.

Для расчётов по модели запись условия (10) удобно представить с учётом приведения его к одному из вредных веществ в составе комбинации, например, к $g = 1$.

$$\sum_{j \in J_1} \sum_r (c_{1j}^{rt} + \sum_{g=2}^n \frac{G_1}{G_g} * c_{gj}^{rt}) x_{jk}^r \leq G_1 \quad (\forall k, t). \quad (10a)$$

8. Формирование величины экономического ущерба от загрязнения:

а) водоёмов:

$$U_k^t - \sum_q U_{qk} P_{qk}^t = 0 \quad (\forall k, t); \quad (11)$$

б) атмосферы:

$$V_k^t - \sum_g \bar{U}_{gk} Y_{gk}^t = 0 \quad (\forall k, t), \quad (12)$$

где U_k^t (V_k^t) – величина суммарного экономического ущерба от загрязнения водной (воздушной) среды в ареале k на конец периода времени t ;

U_{gk} ($\bar{U}_{gk}$) – показатели удельных экономических ущербов от загрязнения водоёмов веществом q (атмосферы – веществом g) в ареале k .

9. Формирование величины платы за сверхнормативный выход загрязнений:

$$\phi_k^t - \sum_q \pi_q \Delta P_{qk}^t - \sum_g \bar{\pi}_g \Delta Y_{gk}^t = 0 \quad (\forall k, t), \quad (13)$$

где ϕ_k^t – суммарная величина платы за загрязнение водной и воздушной среды в ареале k в период времени t ;

π_q ($\bar{\pi}_g$) – удельная плата за сверхнормативный выход загрязнения вида q в водную (воздушную) среду.

10. Потери, связанные с гидроэнергостроительством:

$$S_{fk} - \sum_{j \in J_2} \sum_r s_{fj}^{rt} x_{jk}^r = 0 \quad (\forall f \in F_1 \cup F_2 \cup F_3 \cup F_4; k, t), \quad (14)$$

где S_{fk} – общий объём потерь вида f в связи с гидроэнергостроительством в ареале k за весь рассматриваемый период времени; $f \in F_1 \cup F_2 \cup F_3 \cup F_4$, где

F_1 – множество категорий земли, пригодных для использования в сельском хозяйстве и попадающих в зону затопления;

F_2 – множество видов продукции рыбного хозяйства;

F_3 – множество видов лесного сырья;

F_4 – множество видов жилищных условий населения, переселяемого в связи с затоплением;

s_{fj}^{rt} – прирост потерь вида f в результате строительства ГЭС J ($J \in J_2$) по варианту НПУ r за период времени t .

11. Ограничения на лимит капиталовложений, направляемых на природоохранные мероприятия:

$$\sum_{j \in J_1 \cup J_2} \sum_r \sum_k k_j^{rt} x_{jk}^r - \sum_k \phi_k^t \leq k^t \quad (\forall t), \quad (15)$$

где k_j^r – капиталовложения, направляемые на проведение природоохранных мероприятий на объекте j ($j \in J_1 \cup J_2$) при варианте r на конец периода t ;

k^t – лимит капиталовложений, направляемых на проведение природоохранных мероприятий в период t .

12. Выбор необходимого числа объектов, обеспечивающих заданный объём выпуска той или иной продукции:

а) одного из всевозможных пар объектов:

$$\sum_k \sum_r (x_{j_1 k}^r + x_{j_n k}^r) = 1 \quad (V j_n \in J_1^i \text{ при } n = \overline{2, N_i}); \quad (16)$$

б) допустимой комбинации объектов:

$$\sum_k \sum_r \left[(N_i - 1)x_{j_1 k}^r + \sum_{n=2}^{N_i} x_{j_n k}^r \right] = N_i - 1, \quad (\forall i). \quad (17)$$

Здесь J_1^i – множество предприятий, производящих продукцию вида i ;

$j_n \in J_1^i, J_1^i \subset J_1, n = \overline{1, N_i}$;

n – индекс числа объектов, производящих продукцию вида i , N_i – общее число объектов по производству продукции вида i .

Принимается $a_{j_1}^{rt} x_{j_1 k}^r = \sum_{n=2}^{N_i} a_{j_n}^{rt} x_{j_n k}^r \quad (\forall i, j_n \in J_1^i, k, r, t)$, т.е. производственная

мощность объекта j_1 равна суммарной мощности всех остальных объектов по производству продукции вида i . Это значит, что выполнить задание на выпуск соответствующей продукции можно, выбрав либо один объект j_1 , либо $(N_i - 1)$ объектов j_n (при $n = \overline{2, N_i}$).

13. Функционал:

$$\sum_k \left\{ \sum_t U_k^t + \sum_t V_k^t + \sum_t \phi_k^t + \sum_{f \in F_1 \cup F_2 \cup F_3 \cup F_4} y_{fk} s_{fk} - \sum_t \sum_{j \in J_2} \sum_r P_j^r \mathcal{E}_j^{rt} x_{jk}^r \right\} \rightarrow \min. \quad (18)$$

Здесь y_{fk} – стоимостная оценка продукции (потерь) вида f в промзле k ;

$f \in F_1 \cup F_2 \cup F_3 \cup F_4$;

P_j^r – прибыль, получаемая на единицу выработки электроэнергии на ГЭС j при варианте НПУ r ;

$\mathcal{E}_j^{rt}$ – выработка электроэнергии на ГЭС j при варианте НПУ r в период времени t .

Блок-схема охарактеризованной модели представлена на рис. 2. В ней перечислены основные условия модели и рассматриваемые объекты исследования, представлен характер ограничений и коэффициентов целевой функции, показаны ненулевые элементы матрицы связи. Для краткости: блок-схема модели отражает условия, соответствующие одному ареалу (или промышленному узлу) и одному периоду времени. На рис. 3 приведён фрагмент матрицы рассмотренной модели с учётом блока условий по охране водного и воздушного бассейнов для двух периодов времени с отражением условий накопления загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и поверхностных

УСЛОВИЯ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ И ОГРАНИЧЕНИЙ НА ЛИМИТ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ

Условия		Объекты						Загрязнение				Нормиру- ющие пока- затели по загрязнению		Экономиче- ский ущерб по загрязне- нию		Плата за за- гряз- нение	Потери для				Знак усло- вия	Огра- ниче- ния
		1		2		J		об- щее	сверх- норма- тивное	об- щее	сверх- норма- тивное	водо- ёмов	атмос- феры	водо- ёмов	атмос- феры		сель- ского хо- зяй- ства	рыб- ного хозяй- ства	лес- ного хозяй- ства	на- се- ле- ния		
		вари- ант		вари- ант		вари- ант																
		1	2	1	2	1	2	об- щее	сверх- норма- тивное	об- щее	сверх- норма- тивное	водо- ёмов	атмос- феры	водо- ёмов	атмос- феры		сель- ского хо- зяй- ства	рыб- ного хозяй- ства	лес- ного хозяй- ства	на- се- ле- ния		
1	2	1	2	1	2																	
Выбор одного варианта технологии		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	≤	1	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	=		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	=		
Задание на выпуск продукции		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	=	1	
Ограничения на лимит капиталовложений		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	≤	1	
Формирование уровня за- грязнения	водоёмов	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	=	1	
	атмосферы	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	=	0	
Сверхнормативный выход загрязнений в	водную среду	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	≤	0	
	атмосферу	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	≤	0	
Формирование экономи- ческого ущерба от загрязнения	водоёмов	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	=	0	
	атмосферы	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	=	0	

279

271

Условия	t	q	z_k^t		x_{jk}^t		x_{jk}		p_{qk}^t				Δp_{qk}^t				Y_{qk}^t				U_k^t		Ограничения
									q = 1		q = 2		q = 1		q = 2		g = 1		g = 2				
			t = 1	2	t = 1	2	j = 1	2	t = 1	2	t = 1	2	t = 1	2	t = 1	2	t = 1	2	t = 1	2	t = 1	2	
Загрязнение водного бассейна	1	1	$-E_1$		$-E_{1j}$		$-E_{11}^1$	$-E_{12}^1$	$(1+\alpha_2)$				$(1+\alpha_2)$									$= (1-\beta_1)^{\tau_1} \Phi_{1k}^0$	
		2	$-E_2$		$-E_{2j}$		$-E_{21}^1$	$-E_{22}^1$			$(1+\alpha_2)$			$(1+\alpha_2)$								$= (1-\beta_2)^{\tau_1} \Phi_{2k}^0$	
Ограничения на выход загрязнений	1	1	d		dj		d_1^1	d_2^1	k^λ / G_1^λ													$\leq R_k^1$	
		2	d		dj		d_1^1	d_2^1			k^λ / G_2^λ											$\leq R_k^1$	
Не ухудшение экологической обстановки	1	1											1									$\leq \Phi_{1k}^0$	
		2												1								$\leq \Phi_{2k}^0$	
Загрязнение водного бассейна	2	1		$-E_1$		$-E_{1j}$	$-E_{11}^2$	$-E_{12}^2$		$(1+\alpha_1)$			$-(1-\beta_1)^{\tau_2}$	$(1+\alpha_1)$								$= 0$	
		2		$-E_2$		$-E_{2j}$	$-E_{21}^2$	$-E_{22}^2$				$(1+\alpha_2)$			$-(1-\beta_2)^{\tau_2}$	$(1+\alpha_2)$						$= 0$	
Ограничения на выход загрязнений	2	1		d		dj	d_1^2	d_2^2		k^λ / G_1^λ												$\leq R_k^2$	
		2		d		dj	d_1^2	d_2^2				k^λ / G_2^λ										$\leq R_k^2$	
Не ухудшение экологической обстановки	2	1											1	-1								≥ 0	
		2													1	-1						≥ 0	
Загрязнение	1	1	$-\rho_{1k}$		$-\rho_{1jk}$		$-\Phi_{11}^1$	$-\Phi_{12k}^1$									1					$= \gamma_{1k}^{\tau_1} Y_{1k}^0$	

воздушного бассейна		2	$-\rho_{2k}$		$-\rho_{2j}$		$-\Phi_{21}^1$	$-\Phi_{22k}^1$									1			$= \gamma_{2k}^{\tau_1} Y_{2k}^0$	
Экономический ущерб	1														$-U_{1k}$		$-U_{2k}$	1		$= 0$	
Загрязнение воздушного бассейна	2	1		$-\rho_{1k}$		$-\rho_{1jk}$	$-\Phi_{11k}^2$	$-\Phi_{12k}^2$								$-\gamma_{1k}^{\tau_2}$	1			$= 0$	
		2		$-\rho_{2k}$		$-\rho_{2jk}$	$-\Phi_{21k}^2$	$-\Phi_{22k}^2$									$-\gamma_{2k}^{\tau_2}$	1		$= 0$	
Экономический ущерб	2															$-\bar{U}_{1k}$		$-\bar{U}_{2k}$	1	$= 0$	
Функционал	δ^t		C_k^1	C_k^2	C_{jk}^1	C_{jk}^2	C_{1k}	C_{2k}					u_{1k}	u_{1k}	u_{2k}	u_{2k}			1	1	$\rightarrow \min$

Рис. 3. Фрагмент матрицы модели (блок условий по охране водного и воздушного бассейнов)

Таблица 1

**Характеристика задач, реализованных на материалах Нижнего Приангарья
и его отдельных ареалов**

Задачи	Решаемые проблемы	Используемый аппарат
1. Предупреждение загрязнения водоёмов	1) Определение экологически допустимых масштабов воздействия прогнозируемого хозяйства на состояние поверхностных вод. 2) Выявление объёмов сверхнормативного сброса загрязнений в поверхностные водоёмы. 3) Анализ влияния фактора накопления загрязнений в водной среде на формирование общего уровня загрязнения водоёмов. 4) Анализ влияния фактора естественного переноса вредных веществ по рекам на формирование общего уровня загрязнения водоёмов. 5) Оценка величины экономического ущерба, наносимого загрязнением поверхностных вод.	Модель оптимизации пространственной структуры экономики региона (МОПС ЭР) с блоками по воде
2. Предупреждение загрязнения воздушного бассейна	1) Анализ влияния хозяйственной деятельности в регионе на состояние атмосферного воздуха. 2) Определение уровня сверхнормативного загрязнения атмосферного воздуха. 3) Оценка величины экономического ущерба (ЭУ) от загрязнения атмосферы.	МОПС ЭР с блоком по воздуху
3. Борьба с загрязнением водоёмов и атмосферы	1) Прогнозирование уровня загрязнения воздушной и водной среды. 2) Определение экологически допустимых масштабов концентрации производства в регионе. 3) Определение суммарной величины ЭУ от загрязнения окружающей среды и др.	МОПС ЭР с блоками по воде и воздуху
4. Анализ взаимосвязей загрязнения ОС и здоровья людей	Установление количественных зависимостей между заболеваемостью людей и состоянием окружающей среды (включая загрязнение атмосферного воздуха и климатические особенности территории) в районе размещения крупных ТЭС.	Методы регрессионного и факторного анализа. УПРЗА Эколог*
5. Распространение загрязнений в атмосфере	Построение карт рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе для отдельных объектов. Уточнение размеров санитарно-защитных зон для отдельных экологически опасных объектов.	УПРЗА Эколог
6. Минимизация экономического ущерба от осуществления хозяйственной деятельности	1) Определение потерь, связанных с загрязнением ОС и созданием водохранилищ. 2) Формирование суммарной величины платежей за загрязнение. 3) Уточнение структуры экономики региона и вариантов мощностей для основных объектов.	Модель выбора варианта хозяйственных решений с учётом их экологических последствий
7. Исследование взаимосвязей загрязнения атмосферы и состояния лесов	Прогноз влияния выбросов на состояние лесов и определение экономического ущерба, наносимого лесному хозяйству загрязнением воздуха. Определение площадей возможного нарушения лесов (с учётом их породного состава) в зависимости от мощностей, профиля, технологий и размещения объектов-загрязнителей.	УПРЗА Эколог. Модель выбора варианта хозяйственных решений с учётом их экологических последствий

* УПРЗА Эколог – Унифицированная программа расчёта загрязнения атмосферы «Эколог» (реализует положения «Методики расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)» Госкомгидромета).

водоисточниках, а также условий переноса загрязнений по реке между соседними ареалами с учётом их разложения и условий рассеивания веществ в атмосфере.

На основе использования предложенной модели ставится задача проанализировать влияние включенных в рассмотрение факторов на выбор экологически приемлемых хозяйственных решений с учётом возможных негативных последствий от сооружения производственных объектов различных отраслей экономики региона. Отличительными чертами рассмотренной модели по сравнению с другими предложенными нами моделями являются использование в качестве критерия оптимальности минимума экономического ущерба от реализации хозяйственных решений; учёт потерь, связанных с созданием водохранилищ при гидроэнергетическом строительстве; включение в расчёты платежей за загрязнение окружающей природной среды и др. Как уже указывалось, с использованием данной модели решён ряд практических задач на материалах Нижнего Приангарья в Красноярском крае (табл. 1)¹.

* * *

В целом реализация прикладных работ с использованием модели выбора варианта хозяйственных решений с учётом их экологических последствий позволила включить в исследование перспектив развития региона и решить следующие задачи:

1. Минимизировать экологические потери от осуществления хозяйственной деятельности (потери в связи с загрязнением окружающей среды, нарушением ландшафта, привнесением в среду искусственных сооружений и т.д.).
2. Проанализировать природоохранные аспекты формирования объектов различных отраслевых и межотраслевых комплексов (лесопромышленного, топливно-энергетического, металлургического и др.).
3. Уточнить производственную структуру региона с позиций ее экологической допустимости.
4. Определить объём платежей за загрязнение окружающей среды, который может сформироваться на исследуемой территории.
5. Установить экологическую совместимость различных экологически вредных производств на территории одного промышленного узла.

¹ Бурматова О.П. Инструментарий оптимизации природоохранной деятельности при прогнозировании развития экономики региона. Препринт. – Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2009. – 76 с.; Бурматова О.П. Возможности и ограничения развития Нижнего Приангарья с позиций экологического императива // Реки Сибири. Материалы VI Международной конференции «Реки Сибири». – Красноярск, 2011. – С. 18–21; Бурматова О.П. Реализация инвестиционных проектов в регионе с позиций экологического императива (на примере Нижнего Приангарья) // Проблемы управления социально-экономическим развитием регионов Сибири / под ред. А.С. Новоселова. – Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2013. – С. 269–284; Бурматова О.П. Формирование пространственной структуры экономики региона с учётом загрязнения водных объектов // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал, 2014. – № 3(39). – Режим доступа к журн.: <http://region.mcnip.ru>. Режим доступа к статье: <http://region.mcnip.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=334>; Бурматова О.П. Влияние хозяйственной деятельности на состояние водного бассейна: моделирование и анализ результатов // Вестник НГУЭУ. – 2014. – № 2. – С. 213–232.