

США/м<sup>3</sup> без учета дохода от реализации биогаза. С учетом последнего анаэробная очистка высокозагрязненных стоков становится прибыльной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Калужный С. В., Данилович Д. А., Ножевникова А. Н. Анаэробная, биологическая очистка сточных вод // Итоги науки и техники. Сер. биотехнол.- 1991.-№ 29.-С. 5-156.
2. Гребенчикова И.А., Маркевич Р.М., Костюк С.Д., Ручай Н.С. Анаэробная детоксикация сточных вод в биореакторе интенсивного массообмена // Труды БГТУ. Сер. III. Вып. VI. – 1998.- С. 184-187.

УДК 504.064.47+658.657.1

О. А. Сапрыкина, В.Н. Марцуль  
(УО БГТУ, г. Минск)

#### **РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕХНОГЕННОГО КРУГОВОРОТА**

В настоящее время при разработке стратегии охраны окружающей среды все большее внимание уделяется подходам, базирующимся на системном анализе функционирования гео- и социоэкологоэкономических систем. Именно такой подход позволяет на долговременную перспективу решать экологические проблемы и создавать предпосылки для устойчивого развития.

Одним из основных условий устойчивого функционирования социоэкологоэкономических систем является создание предпосылок для сохранения в районе экологического равновесия. Такое равновесие возможно тогда, когда обеспечивается воспроизводство основных компонентов природной среды и поддерживается баланс в межрайонных потоках вещества и энергии. При этом уровень антропогенного воздействия должен соответствовать уровню биохимической активности и физической устойчивости природной среды.

Большое значение в плане разработки стратегии охраны окружающей среды имеет наличие программы обращения с отходами, базирующейся на вышеописанном подходе. Использование балансов межрайонных потоков вещества позволяет достаточно точно оценить антропогенное воздействие на компоненты природной среды, связанное с образованием отходов и обращением с ними, выделить проблемные ситуации и территории, выработать адекватные уровню воздействия природоохранные мероприятия. Как правило, такие балансы составляются по отдельным веществам.

вам и элементам. Известно применение такого подхода для системного исследования проблем окружающей среды бассейна Рейна, проведенного Международным институтом прикладного системного анализа. Разработчиками методики исследования этот подход назван концепцией индустриального метаболизма. В ходе выполненных исследований основное внимание было уделено тяжелым металлам и стойким органическим загрязнителям. При этом учитывалась не только производственная сфера, но и сфера потребления.

В настоящее время при обращении с отходами в основном учитываются такие параметры, как их количество, токсичность, возможность вторичного использования. Но при этом не используются региональный и территориальный подходы, а также не учитываются отходы потребления. Это может быть оправдано в случае многотоннажных отходов, которые, как правило, локализованы в одном месте, и недопустимо в случае отходов, которые образуются в относительно небольших количествах, но повсеместно. Особый интерес в плане составления балансов представляют производства, перерабатывающие возобновляемое природное сырье, и их продукция, например производства, использующие в качестве сырья древесину и другие лигноцеллюлозные материалы. Это связано прежде всего с тем, что при составлении балансов межрайонных потоков вещества необходимо учитывать процессы биотрансформации как продукции, так и производственных отходов. Кроме того, в данном случае существует реальная возможность сравнения биологического и техногенного круговорота.

Важным в плане применения такого подхода является выбор критериев, с помощью которых можно характеризовать баланс потоков вещества в пределах региона. По нашему мнению, такими критериями являются техногенная нагрузка и, применительно к древесине, показатель, характеризующий накопление древесинного вещества в пределах территории. По последнему показателю можно сравнивать биологический и техногенный круговороты.

Образование отходов всегда сопровождается изъятием природных ресурсов – либо непосредственным, т.е. связанным с добычей природного сырья (например, заготовка древесины), либо опосредованным, при котором на пространственное распределение отходов отводятся земельные угодья, расходуются ресурсы биосферы и т.д.

При этом как непосредственное, так и опосредованное изъятие природного ресурса по существу является результатом техногенной нагрузки, представляющей собой степень прямого и косвенного антропогенного воздействия на природу в целом или ее отдельные компоненты и элементы.

В общем виде техногенная нагрузка (И) на тот или иной компонент окружающей природной среды в регионе может быть выражена зависимостью [1]:

$$И = I_p / R + W_p K_t / R, \quad (1)$$

где  $I_p$  - количество (объем, масса) изъятого ресурса;  $R$  - запасы (объем, масса) ресурса в регионе;  $W_p$  - объем (масса) отходов, поступивших в природный ресурс региона в результате производственной деятельности;  $K_t$  - коэффициент токсичности отходов.

Большая часть входящих в состав формулы параметров может быть получена из доступных статистических данных, характеризующих экономические показатели работы народнохозяйственного комплекса территории, отчетности предприятий. Для определения коэффициентов токсичности необходимо располагать данными о химическом составе выбросов в атмосферу, сбросов в водоемы, отходов и их санитарно-гигиенических характеристиках.

Упомянутый критерий может быть как одним из важнейших в национальной и региональной системе экологических показателей, так и показателем, используемым для оценки экологичности и безотходности технологических процессов и производств.

Большой интерес в плане оценки антропогенной нагрузки, связанной с переработкой возобновляемых природных ресурсов, представляет сравнение биологического и техногенного круговоротов.

Проведем такое сравнение на примере производств по химико-механической переработке древесины, так как техногенный круговорот древесинного вещества главным образом связан именно с этими производствами. Древесина является возобновляемым природным ресурсом, биологический круговорот древесины достаточно хорошо изучен, относительно непродолжителен во времени и имеет локальный характер, т.е. может рассматриваться в рамках отдельного региона.

Природный цикл древесины связан с круговоротом углерода и кислорода. Биологический круговорот древесинного вещества обеспечивает замедление углеродного цикла и изъятие части углерода за счет гумификации древесинного вещества, формируя, таким образом, так называемый «отложенный запас» углерода. Определить его количество можно, рассчитав коэффициент накопления гумуса [2]:

$$K = \frac{1 - \alpha}{x} * A, \quad (2)$$

где  $\alpha$  - коэффициент разложения свежего органического материала;  $x$  - коэффициент разложения гумуса;  $A$  - ежегодный приход органического вещества.

В рамках техногенного круговорота это изъятие происходит за счет древесинного вещества, выводимого из цикла и запасаемого в виде продукции и некоторых твердых отходов. Применительно к производствам по химико-механической переработке древесины "отложенный запас" может характеризоваться двумя составляющими:

$$K_T = K_{\text{пр}} + K_{\text{л}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{пр}}$  - накопление древесинного вещества в виде продукции, производимой за год;  $K_{\text{л}}$  - накопление (убыль) древесинного вещества, обусловленное перемещением продукции через границу территориальной единицы.

Приведенные величины можно определить, используя соотношения:

$$K_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^N B_i, \quad (4)$$

$$B_i = (1 - \alpha_i) * A_i, \quad (5)$$

где  $\alpha_i$  - потери древесины с отходами в  $i$ -м производстве;  $A_i$  - количество сырья, используемого при производстве  $i$ -й продукции за год;  $B_i$  - выход продукции.

Количество древесинного вещества в виде продукции, выводимой из «запаса» за год, может быть оценено как

$$K_{\text{дг}} = \Delta Z_g * Y * (X_{1g} * (1 - b_g) + X_{2g}), \quad (6)$$

где  $\Delta Z_g$  - годовой баланс по продукции, находящейся в сфере производства и потребления;  $Y$  - доля продукции, ежегодно выводимой из оборота (отходы потребления);  $X_{1g}$  - доля отходов потребления, подверженных биодеструкции;  $b_g$  - коэффициент разложения, год<sup>-1</sup>;  $X_{2g}$  - доля отходов потребления, подверженных сжиганию.

$$\Delta Z_g = K_{\text{пр}} - Y + \Pi, \quad (7)$$

где  $Y$  - количество вывозимой продукции за год;  $\Pi$  - количество ввозимой продукции за год.

Так как техногенный круговорот древесинного вещества рассматривается не для отдельного производства, а для территориальной единицы, то "отложенный запас" древесины должен учитывать весь ассортимент продукции каждого из производств по химико-механической переработке древесины:

$$K_{\text{д}} = \sum_{g=1}^M K_{\text{дг}}. \quad (8)$$

Более корректным было бы определение  $K_{\text{дг}}$  (формула 6) на основе информации о количестве продукции, находящейся в сфере производства и

потребления на территории на момент составления баланса. Однако это связано с известными трудностями.

Сравнение  $K$  и  $K_T$  возможно как по валовым годовым показателям прироста (накопления) древесинного вещества, так и по удельным, рассчитанным на единицу массы древесинного вещества.

При определении антропогенной нагрузки, связанной с переработкой древесины и образованием отходов, необходимо учитывать не только их количество, но и скорость их биохимической трансформации в окружающей среде:

$$И = \frac{\sum_{i=1}^m A_i + \sum_{i=1}^n (\alpha * A_i * \gamma_{ж} * \beta_{ж} + \alpha * A_i * \gamma_{тв} * \beta_{тв})}{R + \beta_{д} * R} \quad (9)$$

где  $\gamma_{ж}$  - доля отходов, сбрасываемых со сточной водой;  $\gamma_{тв}$  - доля твердых отходов;  $\beta_{ж}$ ,  $\beta_{тв}$  - константы разложения;  $R$  - запасы древесины в регионе.

Для использования предлагаемого метода на практике помимо общедоступных данных (об объемах используемого сырья, ассортименте производимой продукции) необходимо иметь информацию о жизненном цикле продукции (сроки ее эксплуатации, методы утилизации после истечения срока службы). Кроме того, важно иметь представление о перемещении природных ресурсов и продукции в рамках отдельной территории, а также о сырьевом балансе и товарообороте с другими регионами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чаплыгин Н.Н., Папичев В.И. О критериях оценки техногенной нагрузки на природную среду // Экология и промышленность России. - 2000. - №12. - С. 38-41.
2. Смолянинов И.И. Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов. М.: Лесная промышленность, 1969.