

# ГЕОГРАФИЯ

*Ольга Александровна ПРИТУЖАЛОВА —  
старший преподаватель кафедры социально-  
экономической географии и природопользования,  
доктор естественных наук*

УДК 504:03

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ**

*АННОТАЦИЯ. Статья посвящена новому методу оценки продукции, направленному на снижение ее экологических воздействий, — оценке жизненного цикла (ОЖЦ). Освещаются процедура проведения методологически наиболее сложного этапа ОЖЦ — оценки воздействия жизненного цикла, и возможности использования ОЖЦ в России.*

*The article is dedicated to a new method of evaluation of products, which is aimed to reduce its environmental impacts — life cycle assessment (LCA). Life cycle impact assessment, the much more difficult stage of LCA, and the possibilities for Russia to apply LCA are being covered in this paper.*

Причиной экологического кризиса является хозяйственная деятельность человека, основная цель которой — производство различной продукции и услуг. На протяжении своего жизненного цикла продукты неоднократно вносят вклад в загрязнение окружающей среды. Оценка жизненного цикла (ОЖЦ), представляющая собой сбор и оценивание входных и выходных потоков, а также потенциальных воздействий продукции на окружающую среду на всех стадиях ее жизненного цикла (изготовление, использование, утилизация отходов), — один из ведущих инструментов экологического менеджмента, перспективный метод улучшения экологических аспектов продукции и сравнения альтернатив.

Оценка жизненного цикла появилась в США и Европе в 60-70-х гг. XX века. Ее расцвет пришелся на 1980-е годы. В это время на основе среднестатистических значений был создан банк данных по наиболее часто исследуемым продуктам (например, упаковочным, строительным материалам) и производственным процессам (например, различным способам выработки энергии). Помимо этого был разработан ряд фундаментальных теорий оценки воздействия жизненного цикла, например, метод «пунктов загрязнения окружающей среды» [1, 2, 3], модель «критических объемов загрязнения» [4]. По всему миру было проведено несколько сотен практических исследований. В России метод ОЖЦ

приобрел известность только в конце 1990-х гг. с принятием международных стандартов (ГОСТы Р ИСО 14040-14043).

Оценка жизненного цикла проводится в четыре этапа (рис. 1). Методологически наиболее сложным этапом является оценка воздействия на протяжении жизненного цикла (ОВЖЦ). Сложность ОВЖЦ заключается в необходимости сравнения между собой разноплановых экологических воздействий, что требует обобщения инвентаризованных потоков веществ или энергии со схожими экологическими воздействиями в категории воздействия. При этом важно учесть пространственную и временную размерность оцениваемых воздействий.

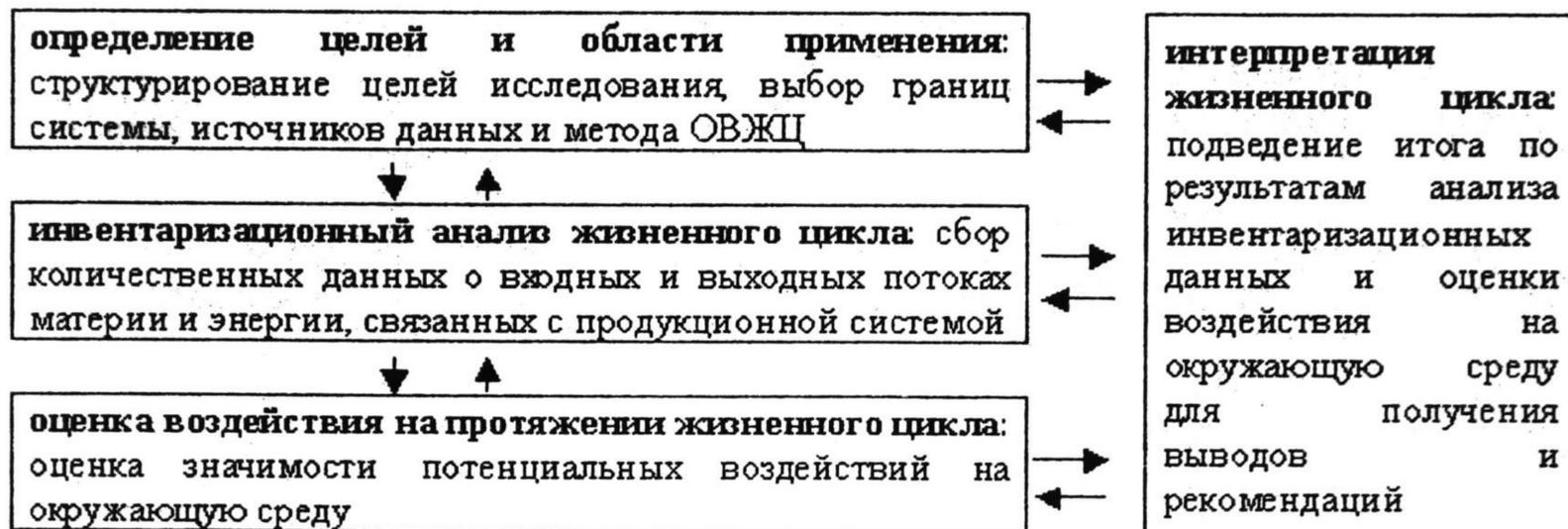


Рис. 1. Структура ОЖЦ

Для проведения ОВЖЦ разработано более десятка методологических подходов [5]. Рассмотрим один из них — метод экоиндикаторов, предложенный немецкой Федеральной Службой Окружающей Среды [6, 7, 8]. Данный подход соответствует требованиям международного стандарта ISO 14042:2000 или Госстандарта России ГОСТ Р ИСО 14042-2000 [9, 10].

Оценка воздействия на протяжении жизненного цикла начинается с *выбора категорий воздействия* (рис.2, табл.1) на основе анализа причинно-следственных механизмов негативного воздействия антропогенной деятельности на окружающую среду.

Следующий этап ОВЖЦ — увязывание инвентаризационных данных с воздействиями на окружающую среду (классификация) — требует четкого уяснения экологических проблем на основе результатов инвентаризационного анализа жизненного цикла (табл. 1).

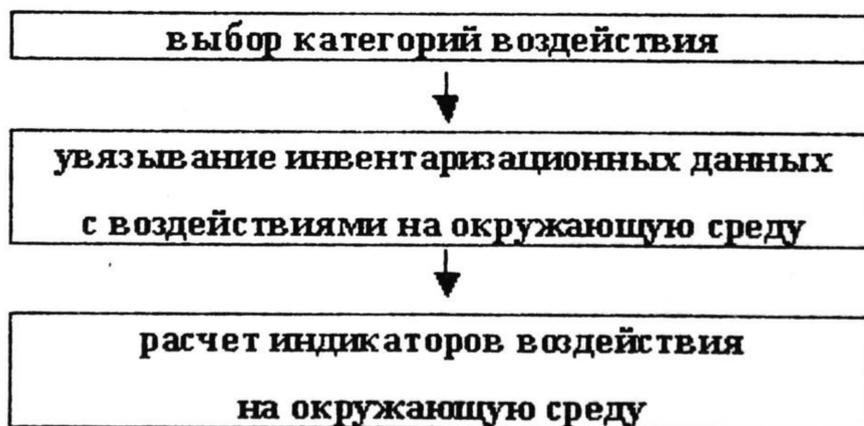


Рис. 2. Структура ОВЖЦ

Классификация предоставляет возможность *расчета индикаторов воздействия на окружающую среду, экоиндикаторов*. Например, в качестве экоиндикатора в категории воздействия «Расход энергетических ресурсов» может использоваться ограниченность энергоносителей, в категории воздействия «Ев-

трофикация» — потенциал евтрофикации отдельных загрязнителей, в категории воздействия «Парниковый эффект» — потенциал глобального потепления.

Таблица 1

Образец присвоения результатам инвентаризационного анализа жизненного цикла категорий воздействия

Категории воздействия	Параметры инвентаризационного анализа
Парниковый эффект	Выбросы углекислого газа, метана, закиси азота
Выбросы фотооксидантов	Выбросы метана, формальдегида, бензола, летучих органических соединений
Евтрофикация почв	Выбросы оксидов азота, аммиака
Евтрофикация водоемов	Выбросы фосфора, аммония, нитратов, химическое потребление кислорода
Закисление среды	Выбросы двуокиси серы, оксидов азота, хлористого водорода, фтористого водорода, аммиака, сероводорода
Потребление природных ресурсов	Расход нефти, природного газа, угля, серной кислоты, железа, песка, воды, древесины, земельных ресурсов и др.
Токсическое воздействие на человека	Выбросы пыли, окиси углерода, мышьяка, свинца, кадмия, хрома, никеля, двуокиси серы, бензола, диоксинов
Токсическое воздействие на организмы	Выбросы аммиака, фтористого водорода, двуокиси серы, сероводорода, оксидов азота, аммония, хлоридов
Образование отходов	Образование бытовых и промышленных отходов разных классов опасности, шлаков, илов очистных сооружений

Вклад продукционной системы в ту или иную категорию воздействия  $V$  рассчитывается посредством суммирования масс эмитируемых субстанций  $m$  с учетом соответствующего экоииндикатора  $I$  по формуле:

$$V = \sum_i (m_i \times I_i)$$

В дальнейшем описываются используемые для определения экоииндикаторов методологические подходы.

Наиболее часто применяемый для характеристики **парникового эффекта** индикатор — это *потенциал глобального потепления* (Global Warming Potential), рассчитываемый с учетом интенсивности инфракрасного излучения каждого парникового газа и времени его пребывания в тропосфере и выражаемый в эквивалентах  $\text{CO}_2$  (табл.2).

Таблица 2

Потенциал глобального потепления

Загрязняющее вещество	$\text{CO}_2$ -эквивалент
Углекислый газ	1
Метан	21
Закись азота	310

**Фотооксиданты**, прежде всего озон, вызывают образование фотосмога. Для оценки воздействия фотосмога используется индикатор «*Фотохимический потенциал образования озона*» (Photochemical Ozone Creation Potential, РОСР), выражаемый в эквивалентах этилена (табл. 3). Данный индикатор отображает то, насколько изменяется концентрация озона в определенном месте при выбросах различных углеводородных соединений по сравнению с изменением концентрации озона в результате эмиссии этилена. Этот подход является спорным, так как он базируется на потенциале образования озона в результате выбросов углеводородов, оставляя вклад оксидов азота в данную проблему без внимания.

Таблица 3

**Фотохимический потенциал образования озона**

Загрязняющее вещество	Этилен-эквивалент
Этилен	1
Метан	0,007
Формальдегид	0,421
Бензол	1,189
Ацетилен (этин)	0,168
Этанол	0,268
Этиловый ацетат	0,218
Неметановые летучие органические соединения	0,416
Летучие органические соединения	0,377

Модель РОСР была усовершенствована Штерном [11]. Он предложил учесть линейную взаимосвязь между выбросами оксидов азота и возникновением фотооксидантов по формуле:

$$NCPOCP = \sqrt{NO_x \times \sum_i (m_i \times POCP_i)}$$

Полученный индикатор — скорректированный на азот фотохимический потенциал образования озона (Nitrogen Corrected Photochemical Ozone Creation Potential, NCPOCP) — более точно отображает механизм образования фотооксидантов.

Механизмы **евтрофикации почв и водоемов** неодинаковы. Упрощенно говоря, все выбросы в воздушную среду служат причиной евтрофикации почв, а все выбросы в водную среду влекут за собой перенасыщение питательными веществами водоемов. Поскольку принос питательных веществ в водоемы атмосферными осадками по сравнению с их приносом со сточными водами незначителен, это допущение вполне объективно. Для расчета приноса питательных веществ избран индикатор *потенциал нитрификации* (Nitrification Potential), выраженный в фосфат-эквивалентах (табл. 4).

Таблица 4

**Потенциал евтрофикации**

Загрязняющее вещество	Фосфат-эквивалент
Потенциал евтрофикации почв	
Оксиды азота	0,13
Аммиак	0,327
Потенциал евтрофикации водоемов	
Общий фосфор	3,06
Общий азот	0,42
ХПК	0,022
Аммоний	0,327
Нитраты	0,128

Закисление окружающей среды — следствие выбросов кислот и соединений, способных образовывать кислоты, — затрагивает как экосистемы на суше, так и водные экосистемы. Для характеристики повышения кислотности почв и природных вод используется индикатор «Потенциал образования кислот» (Acidification Potential), оцениваемый обычно в SO<sub>2</sub>-эквивалентах (табл. 5). Данный индикатор отражает способность различных поллютантов образовывать H<sub>3</sub>O-ионы.

Таблица 5

## Потенциал закисления среды

Загрязняющее вещество	SO <sub>2</sub> -эквивалент
Двуокись серы	1
Оксиды азота	0,7
Хлористый водород	0,88
Фтористый водород	1,6
Аммиак	1,88
Сероводород	1,88

**Потребление природных ресурсов** (изъятие или использование любых материалов, энергий, организмов и земель из окружающей природной среды) реально наносит вред основе жизни человека. В связи с этим важна оценка потребления ресурсов с учетом их ограниченности в территориальных единицах (экономическом районе, отдельном государстве, на планете в целом), возобновления, фактического расхода и резервов.

При инвентаризации данных жизненного цикла сложно провести границу между отдельными разновидностями ресурсов. Так, некоторые физически используемые материалы являются энергоносителями (древесина, нефть) и наоборот. Биологические ресурсы не всегда являются возобновимыми. При проведении ОВЖЦ могут быть выделены следующие группы природных ресурсов:

- ископаемые энергетические ресурсы;
- сырьевые, в том числе водные и древесные ресурсы;
- земельные ресурсы.

**Запасы энергетических ресурсов**, особенно ископаемых топлив, на Земле конечны, поэтому существует угроза их исчерпания. Индикатором обеспеченности энергетическими ресурсами является *ограниченность ископаемых топлив*, выражаемая, как правило, в нефтяных эквивалентах (табл.6). Нефтяной эквивалент того или иного ископаемого энергоносителя, в свою очередь, определяется с учетом теплотворной способности данного ресурса и срока, на который его должно хватить при сохранении современного уровня потребления.

Таблица 6

## Ограниченность энергетических ресурсов

Природный ресурс	Нефтяной эквивалент
Нефть	1
Природный газ	0,5212
Каменный уголь	0,1836
Бурый уголь	0,0409

**Сырьевые ресурсы.** В идеале в данной категории необходимо учесть ограниченность каждого вида используемого сырья. Однако такой подход оправдан только для очень ценных, имеющих на Земле в ограниченном количестве материалов (алмазов, редких металлов). Поэтому наиболее часто потребление сырьевых ресурсов оценивается в натуральных показателях (по массе). Аналогично учитываются водные ресурсы. Оценку потребления древесины немецкой Федеральной службой окружающей среды предлагается проводить в рамках оценки земельных ресурсов (см. ниже).

**Земельные ресурсы** также могут рассматриваться как конечный ресурс. Однако с точки зрения охраны окружающей среды необходимо рас-

считать не только площадь используемых территорий, но и их экологическое состояние. Немецкой Федеральной службой окружающей среды выделяется семь классов земель:

- класс I (девственный лес);
- класс II (близкое к естественному воспроизводству лесоводство);
- класс III (условно близкое к естественному воспроизводству лесоводство или сельскохозяйственное использование территории);
- класс IV («полуестественное» лесоводство или сельскохозяйственное использование территории);
- класс V (условно далекое от естественного воспроизводства лесоводство или сельскохозяйственное использование территории);
- класс VI (далекое от естественного воспроизводства сельскохозяйственное использование территории, промышленное использование территории);
- класс VII (искусственно изолированные поверхности и деградированные земли).

Для оценки экологической ситуации территории применяются три группы критериев:

- состояние почвенного покрова (например, густота дорожной сети, интенсивность известкования и удобрения почв, внесения пестицидов, объем мероприятий по осушению);
- состояние растительного покрова (например, видовое разнообразие, количество сухостойной древесины, доля искусственных насаждений);
- условия развития экосистемы (например, интенсивность использования земель, мероприятий по уходу).

Результат оценки воздействия в категории «Потребление земельных ресурсов» — площади используемых территорий различных классов, а также территорий, выведенных из хозяйственного оборота. Так, в случае с полигонами для захоронения отходов (земли класса VII), наряду с площадью самого полигона необходимо учесть площадь прилегающих территорий, использование которых невозможно или существенно ограничено.

Категория «**Токсическое воздействие на человека**» характеризует влияние вредных веществ на здоровье человека. При проведении оценки инвентаризационных данных необходимо четко установить, воздействие на здоровье каких индивидуумов должно оцениваться. Как правило, исходят из того, что необходимо оценивать влияние жизненного цикла того или иного продукта на здоровье всех живущих в настоящее время людей, а также и будущих поколений.

Поскольку выбросы загрязнителей приходятся на единицу производимого продукта, а не на какую-либо территориальную единицу (страну, регион), классические инструменты оценки токсикологического воздействия хозяйственной деятельности человека на его здоровье (например, анализ рисков) не могут быть применены в рамках ОВЖЦ. Методика, которая могла бы охватить все разнообразие токсикологических, в том числе синергетических эффектов вредных для здоровья выбросов, до сих пор не разработана. С той же проблематикой сталкиваемся и при оценке токсического воздействия загрязняющих веществ на организмы. Поэтому при проведении ОВЖЦ продукции количественные данные об эмиссиях отдельных вредных веществ и соединений в необобщенном виде перенимаются из инвентаризационных данных.

Последняя рассматриваемая категория воздействия на окружающую среду — **количество образующихся отходов**. Как правило, при оценке образо-

вания отходов ограничиваются определением массы различных видов отходов, то есть используют инвентаризационные данные без агрегации.

Таким образом, ОЖЦ представляет собой комплексную и детализированную оценку экологического воздействия продукции. Анализ жизненного цикла продукции позволяет снизить вред, наносимый окружающей среде при изготовлении, эксплуатации и утилизации продукции, например, за счет применения экологически чистого сырья, совершенствования технологий производства продукции. Результаты ОЖЦ могут использоваться для принятия решений как на уровне отдельных предприятий (например, при моделировании производства, путей сбыта продукции), так и на государственном уровне (например, при принятии решений об ограничении или запрете применения определенных видов сырья). Для внедрения метода ОЖЦ в России необходимо, в первую очередь, развивать кооперацию предприятий в производственной цепочке в области обмена экологически-релевантной информацией. Важным условием успешного применения ОЖЦ должна стать информационная, методологическая и техническая поддержка проведения ОЖЦ со стороны природоохранных служб.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Muller-Wenk R. Die ökologische Buchhaltung. Ein Informations- und Steuerungsinstrument für umweltkonforme Unternehmenspolitik. Frankfurt a.M., New York, 1978.
2. Braunschweig A. Die ökologische Buchhaltung als Instrument der städtischen Umweltpolitik. Chur, 1988.
3. Ahbe S., Braunschweig A., Muller-Wenk R. Methodik für Okobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. Bern, 1990.
4. Bundesamt für Umweltschutz. Okobilanzen von Packstoffen. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 24/84. Bern, 1984.
5. Schaltegger S., Sturm A. Ökologieorientierte Entscheidungen in Unternehmen. Ökologisches Rechnungswesen statt Okobilanzierung. Bern, Stuttgart, Wien, 1994.
6. Umweltbundesamt. Okobilanz für Getränkeverpackungen. Texte 52/95. Berlin, 1995.
7. Umweltbundesamt. Okobilanz für Getränkeverpackungen. Texte 37/00. Berlin, 2000.
8. Umweltbundesamt. Okobilanzen für Produkte. Bedeutung — Sachstand — Perspektiven. Texte 38/92. Berlin, 1992.
9. ISO 14042. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Life cycle impact assessment. 2000.
10. ГОСТ Р ИСО 14042-2001. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Оценка воздействия жизненного цикла. Госстандарт России. М., 2001.
11. Stern R. Bewertung des Beitrags von Produkten zur Photooxidantienbildung im Rahmen von Okobilanzen auf der Basis photochemischer Modellrechnungen. Methodenpapier zur Okobilanz «Graphische Papiere» im Auftrag des Umweltbundesamtes UFOPLAN FKZ 10350120. 1997.