



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ОБЪЕМА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ: МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

**В.П. Постников,**

ассистент кафедры экономики и управления промышленным производством  
Пермского национального исследовательского политехнического университета  
v.p.o.s.t.v@mail.ru

*В статье произведен расчет величины экологического ущерба для 81 субъекта Российской Федерации. Результаты расчета демонстрируют, что экологический ущерб в несколько раз отличается в зависимости от регионов. Построена модель влияния объема выбросов загрязняющих веществ на величину экологического ущерба. Значения соответствующих коэффициентов отражают высокое качество модели, что в свою очередь, позволяет использовать ее для моделирования величины экологического ущерба.*

**Ключевые слова:** экологический ущерб, выбросы загрязняющих веществ, региональная экономика, валовый региональный продукт

УДК 502.3: 504.064 ББК 20.1

Согласно доклада «О человеческом развитии 2013» [2] необходимым условием устойчивого человеческого развития является повышение внимания к воздействию, оказываемому людьми на окружающую среду. Это, прежде всего, связано с тем, что состояние окружающей среды является одним из основных параметров, которые характеризуют качество жизни населения. В последние десятилетия наблюдается все более тесная взаимосвязь развития экономики с изменениями в окружающей среде, возрастает взаимное влияние как экологии на экономическое развитие, так и результатов хозяйственной деятельности мирового сообщества на состояние природной среды [5, С. 125]. В условиях постоянно ухудшающейся экологической обстановки соответственно возрастает степень влияния экологии на здоровье и качество жизни населения. Поэтому возникает необходимость в оценке взаимовлияния экологического и экономического развития.

Целью данного исследования является моделирование влияния объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на объем экологического ущерба. Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: 1) рассчитать величину экологического ущерба для каждого субъекта Российской Федерации; 2) построить модель влияния объема выбросов загрязняющих веществ на величину экологического ущерба.

На сегодняшний день существуют различные подходы к расчету величины экологического ущерба. Так, в 1999 г. была утверждена «Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба» (в настоящее время не действует), которая предназначена для получения укрупненной эколого-экономической оценки предотвращаемого ущерба. В мировой практике Всемирной организацией здравоохранения и Агентством по охране окружающей среды США разработана методология оценки риска для здоровья человека, а Штутгартским университетом совместно с Институтом рационального использования энергии была разработана модель оценки воздействия загрязнения природной среды на здоровье населения «Экосенс» (EcoSense). В нашей стране вопросами оценки экологического ущерба активно занимается коллектив

ученых под руководством Бобылева С.Н. и Сидоренко В.Н., которые предложили концепцию оценки ущерба через здоровье населения.

В исследовании используется методика, разработанная на основе концепции выдвинутой Бобылевым С.Н., Сидоренко В.Н. и др. в исследовании «Макроэкономическая оценка издержек для здоровья населения России от загрязнения окружающей среды» [1].

Экологический ущерб здоровью населения и, соответственно, экономике региона от загрязнений окружающей среды определяют следующие составляющие [5, с. 39]:

- расходы на лечение болезней, вызванных неблагоприятной окружающей средой;
- потеря валового регионального продукта (ВРП) в результате заболеваний населения;
- потеря ВРП в результате низкой продолжительности жизни населения.

Расходы на лечение включают расходы на государственную систему здравоохранения, которые оцениваются как ежегодные расходы бюджета, и расходы домашних хозяйств на медикаменты и госпитализацию. Расходы на лечение можно определить по формуле:

$$Z_{ni}^a = \frac{Z_{\delta i}}{d_{\delta}} \delta^a \quad (1)$$

где  $Z_{\delta i}$  — расходы бюджета на здравоохранение в  $i$ -м периоде, руб.;

$d_{\delta}$  — доля расходов бюджета на здравоохранение в общих затратах на лечение (составляет примерно 40%);

$\delta_a$  — степень влияния атмосферного воздуха на здоровье населения (по данным Бобылева С.Н. и др. составляет 9,5%).

Потеря ВРП в результате заболеваний населения рассчитывается по формуле:

$$\Delta ВРП_{\delta i} = ЧЗ_i B_{cpi} ВРП_{\delta i} \delta^a \quad (2)$$

где  $ЧЗ_i$  — численность занятых в экономике региона в  $i$ -м периоде, чел.;

$B_{cpi}$  — средняя продолжительность болезни в  $i$ -м периоде на одного занятого, дн.;

$ВРП_{zi}$  – валовый региональный продукт на одного занятого в экономике в день в  $i$ -м периоде, руб./чел.

Потерю ВРП в результате низкой продолжительности жизни населения предлагается определять по формуле [3]:

$$\Delta ВРП_{ci} = (C_i C_i (B_{пен} - B_{срj}) k_j) ВРП_{ci} \delta^a, \quad (3)$$

где  $C_i$  – численность населения региона в  $i$ -м периоде, чел.;  
 $C_i$  – уровень смертности населения региона в  $i$ -м периоде, чел.;  
 $B_{пен}$  – средний возраст выхода на пенсию в регионе, лет;  
 $B_{срj}$  – средняя продолжительность жизни  $j$ -ой возрастной категории, лет;  
 $k_j$  – коэффициент смертности  $j$ -ой возрастной категории;  
 $ВРП_{ci}$  – валовый региональный продукт на душу населения в год в  $i$ -м периоде, руб./чел.

Представим коэффициенты смертности по возрастным категориям (табл. 1).

Таблица 1

**Коэффициенты смертности по возрастным категориям**

Возрастная категория	Коэффициенты смертности, %
0–4	0,87%
5–9	0,11%
10–14	0,15%
15–19	0,61%
20–24	1,26%
25–29	1,91%
30–34	2,30%
35–39	2,66%
40–44	4,53%
45–49	6,24%
50–54	7,64%
55–59	7,28%
60–64	6,49%
65–69	12,13%
70 и более	45,82%

Коэффициенты смертности рассчитаны в среднем для России. Для достижения большей точности расчета, по нашему мнению, необходимо рассчитывать коэффициенты смертности для каждого региона отдельно. Но в связи с отсутствием необходимых статистических показателей для каждого региона расчет коэффициентов смертности произведен для России и распространен на все регионы.

Предлагаемая методика позволяет оценивать экологический ущерб по каждому отдельному региону и использовать его для сравнения и моделирования. Так как целью исследования является моделирование влияния объема выбросов загрязняющих веществ на объем экологического ущерба, то сама методика представлена кратко. Более подробно с методикой определения экологического ущерба можно ознакомиться в статьях [5] и [4].

На основе формул (1)–(3) был произведен расчет величины экологического ущерба для 81 субъекта РФ по данным Территориальных органов Федеральной службы государственной статистики за 2011 г.

Расчет экологического ущерба здоровью населения производится по трем составляющим: расходы на лечение болезней, вызванных неблагоприятной окружающей средой; потеря валового регионального продукта (ВРП) в результате заболеваний населения; потеря ВРП в результате снижения продолжительности жизни населения. В качестве примера рассчитаем экологический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха за 2011 г. для трех регионов: Свердловская область, Нижегородская область и Пермский край.

Расходы на лечение болезней, вызванных неблагоприятной окружающей средой, представлены в табл. 2. Расчет осуществляется по формуле (1). Расходы бюджета регионов на здравоохранение взяты из отчетов об исполнении бюджета за 2011 г.

Таблица 2

**Расчет расходов на лечение болезней, вызванных загрязнением атмосферного воздуха в 2011 году**

Показатели	Свердловская область	Нижегородская область	Пермский край
Расходы бюджета на здравоохранение, млн руб.	21 053	17 499	16 561
Долю расходов бюджета на здравоохранение в общих затратах на лечение	0,4	0,4	0,4
Степень влияния атмосферного воздуха на здоровье населения	0,095	0,095	0,095
Расходы на лечение болезней, вызванных загрязнением атмосферного воздуха, млн руб.	5 000	4 156	3 933
Расходы на лечение болезней, вызванных загрязнением атмосферного воздуха, % к ВРП	0,40%	0,54%	0,49%

Таким образом, в 2011 г. расходы на лечение болезней, вызванных загрязнением атмосферного воздуха Свердловской области, составили 5 000 млн руб., Нижегородской области – 4156 млн руб., Пермского края – 3933 млн руб.

Теперь необходимо рассчитать потери ВРП в результате заболеваний населения и снижения продолжительности жизни, вызванных неблагоприятной экологической средой. Расчет осуществляется по формулам (2) и (3). Исходные данные и алгоритм расчета потерь ВРП из-за заболеваний населения представлены в табл. 3, а от низкой продолжительности жизни – в табл. 4.

Таблица 3

**Расчет потерь ВРП в результате заболеваний населения в 2011 г. (в текущих ценах)**

Показатели	Свердловская область	Нижегородская область	Пермский край
Объем ВРП, млн руб.	1 265 683	770 407	803 312
Численность занятых в экономике, тыс. чел.	2 139	1 657	1 287
ВРП на одного занятого в экономике в день, руб./чел.	1 621	1 274	1 710
Средняя продолжительность болезни, дн.	9,0	7,6	7,8
Количество человеко-дней болезни в год, тыс. чел.-дн.	19 341	12 605	9 978
Степень влияния атмосферного воздуха на здоровье населения	0,095	0,095	0,095
Потери ВРП из-за заболеваний населения, млн руб.	2 978	1 526	1 621
Потери ВРП из-за заболеваний населения, % к ВРП	0,24%	0,20%	0,20%

Как видно из таблицы 3 потери ВРП Свердловской области из-за заболеваний населения в 2011 г. составили 2978 млн руб., Нижегородской области – 1526 млн руб., Пермского края – 1621 млн руб.

Как видно из таблицы 4 потери ВРП Свердловской области из-за низкой продолжительности жизни в 2011 г. составили 8 189 млн руб., Нижегородской области – 5 797 млн руб., Пермского края – 5 418 млн руб.

Таким образом, совокупные потери ВРП Свердловской области от загрязнения атмосферного воздуха составляют 16,17 млрд руб. в 2011 г., или 1,28% от ВРП, Нижегородской области – 11,48 млрд руб. или 1,49% ВРП, Пермского края – 10,97 млрд руб. или 1,37% ВРП (табл. 5).

Для моделирования зависимости экологического ущерба от объемов выбросов загрязняющих веществ представим регионы с наибольшими и наименьшими абсолютными значениями экологического ущерба (табл. 6).

Таблица 4

**Расчет потерь ВРП в результате низкой продолжительности жизни в 2011 г. (в текущих ценах)**

Показатели	Свердловская область	Нижегородская область	Пермский край
Объем ВРП, млн руб.	1 265 683	770 407	803 312
Численность населения, тыс. чел.	4 302	3 302	2 632
ВРП на душу населения в год, руб./чел.	294 180	233 294	305 174
Уровень смертности на 1000 чел., чел.	14,1	16,4	14,7
Возраст выхода на пенсию мужского и женского населения в регионе, лет	60/55	60/55	60/55
Возраст нежития, лет	4,83	4,83	4,83
Количество человеко-лет нежития, тыс. чел.-лет	293	262	187
Степень влияния атмосферного воздуха на здоровье населения	0,095	0,095	0,095
Потери ВРП из-за снижения продолжительности жизни, млн руб.	8 189	5 797	5 418
Потери ВРП из-за снижения продолжительности жизни, % к ВРП	0,88%	0,75%	0,67%

Таблица 5

**Потери ВРП от загрязнения атмосферного воздуха в 2011 г. (в текущих ценах)**

Показатели	Свердловская область	Нижегородская область	Пермский край
Расходы на лечение болезней, вызванных загрязнением атмосферного воздуха, млн руб.	5 000	4 156	3 933
Потери ВРП из-за заболеваний населения, млн руб.	2 978	1 526	1 621
Потери ВРП из-за снижения продолжительности жизни, млн руб.	8 189	5 797	5 418
Потери всего, млн руб.	16 167	11 479	10 972
Потери всего, % к ВРП	1,28%	1,49%	1,37%

$x_1$  — объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, тыс. тонн;

$x_2$  — объем выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников, тыс. тонн.

Для проверки факторов  $x_1$  и  $x_2$  на адекватность воспользуемся  $p$ -значением. Если  $p$ -значение фактора меньше (или равно) 0,05 (т.е. для 95%-ной доверительной вероятности), то фактор признается значимым. В нашем случае  $p$ -значение показателя объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников равно 0,018, а  $p$ -значения показателя объема выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников равно 0,00. Так как  $p$ -значение факторов меньше 0,05, то данные факторы можно использовать для построения модели.

Проведем статистический анализ модели (4) по показателям надежности и качества модели (F-критерий Фишера и коэффициент множественной корреляции). Напомним, что F-критерий Фишера оценивает — статистически значима зависимость или нет, описанная уравнением регрессии. Чем больше это значение, тем лучше уравнение регрессии. Если  $F > F_{табл}$  с вероятностью 0,95 связь, описываемая уравнением регрессии, статистически значима (существенна).  $F_{табл}$  находится по ста-

Таблица 6

**Экологический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха и объемы выбросов загрязняющих веществ за 2011 г.**

Регион	Экологический ущерб, млн руб.	Объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, тыс тонн	Объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников, тыс тонн
Московская область	36 977	192,4	749,5
Тюменская область	29 703	106,1	162,6
Свердловская область	17 960	1091,4	423,8
Красноярский край	16 504	2516,8	313,6
Ханты-мансийский автономный округ	16 167	2353,0	229,8
Краснодарский край	14 571	161,3	487,0
Республика Татарстан	14 561	277,9	301,8
Республика Башкортостан	13 863	406,4	333,5
Нижегородская область	11 479	142,3	334,2
Кемеровская область	11 267	1390,0	223,8
Пермский край	10 972	375,2	218,0
...	...	...	...
Магаданская область	1 244	25,1	28,1
Кабардино-Балкарская Республика	1 180	2,4	75,5
Чукотский автономный округ	1 000	22,2	4,6
Республика Адыгея	980	4,2	35,2
Республика Северная Осетия	901	4,0	64,7
Республика Тыва	859	19,1	18,8
Еврейская автономная область	802	24,9	13,2
Караваево-Черкесская Республика	593	25,5	39,7
Республика Алтай	542	8,8	19,7
Республика Калмыкия	540	3,6	28,5
Республика Ингушетия	350	0,1	22,3

стистической таблице для  $a=0,05$ . Коэффициент корреляции ( $r$ ) отражает силу, тесноту связи между исследуемым показателем и независимой переменной или фактором. Если  $r \rightarrow 1$ , то связь сильная (сильной считается связь при  $r \geq 75\%$ ).

Анализ показал, что коэффициент множественной корреляции равен 0,83 (то есть имеет место высокая надежность построенной модели); проверка уравнения на значимость по критерию Фишера ( $F = 88,7 > F_{табл.} = 3$ ) также подтвердила существование тесной взаимосвязи между величиной экологического ущерба и двумя выбранными факторами.

Оценки коэффициентов при факторах модели (2,26 и 36,87) показывают, что увеличение объема выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников и от передвижных источников на 1 тыс. тонн сопровождалось в рассматриваемом периоде увеличением величины экологического ущерба в среднем на 2,26 и 36,87 млн руб. соответственно. Таким образом, получаем, что основное влияние на здоровье населения, и как следствие на экономику региона, оказывает загрязнение атмосферного воздуха передвижными источниками. Это закономерно, так как именно передвижные источники находятся в зоне активного влияния на здоровье населения, в то время как стационарные источники, в большинстве своем, вынесены на окраины городов. Второй причиной существенного влияния передвижных источников на величину экологического ущерба является низкая экологичность транспортных средств. России в целом по данному показателю очень сильно отстает от европейских стран. В Европе не разрешается эксплуатация пассажирского транспорта, не удовлетворяющего нормам Евро-3, и запрещен выпуск автомобилей, количество вредных выбросов которых не удовлетворяет требованиям Евро-5. В России же до

сих пор разрешено использовать транспорт, соответствующий стандартам Евро-0 и Евро-1.

Построенная модель (4) объясняет вариацию экологического ущерба в регионах изменением объемов выбросов загрязняющих веществ на 83%, что является достаточно хорошим результатом.

Таким образом, высокие значения соответствующих коэффициентов отражают высокое качество модели (4), что в свою очередь, позволяет использовать ее для моделирования величины экологического ущерба. Другими словами, построенная двухфакторная математическая модель выявила высокий уровень зависимости экологического ущерба регионов от объема выбросов загрязняющих веществ.

В целом, предложенная двухфакторная модель и соответствующие ей методы являются базовыми параметрами для моделирования экологического ущерба в зависимости от планируемого объема выбросов загрязняющих веществ. Полученные параметры позволяют исследователям давать качественные и количественные оценки экологической эффективности тех или иных проектов, направленных на снижение или рост объема выбросов в регионах. При этом при планировании объема выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников, можно использовать такой показатель как автомобилизация населения, а от стационарных источников — планируемый объем ВРП.

Представленная модель зависимости величины экологического ущерба от выбросов загрязняющих веществ может быть использована при принятии управленческих решений в области охраны окружающей среды и развития промышленности и транспорта.

### Литература

1. Бобылев С.Н., Сидоренко В.Н., Сафонов Ю.В., Авалиани С.Л., Струкова Е.Б., Голуб А.А. Макроэкономическая оценка издержек для здоровья населения России от загрязнения окружающей среды. — М.: Ин-т Всемирного Банка, Фонд защиты природы, 2002.
2. Доклад о человеческом развитии 2013. Возвышение Юга: человеческий прогресс в многообразном мире. — М.: Изд-во «Весь Мир», 2013.
3. Кондратьев А.Е. Роль экологически чистого транспорта в поддержке устойчивого развития городов // Теория и практика общественного развития. — 2012. — № 4.
4. Левда Н.М., Постников В.П. К вопросу об оценке экологического ущерба от загрязнений атмосферного воздуха в регионе // Вестник ПНИПУ. Сер. Социально-экономические науки. — 2013. — №21. — С.37–45.
5. Левда Н.М., Постников В.П. Оценка экологического ущерба населению и экономике региона от загрязнений атмосферного воздуха // Экономический анализ: теория и практика. — 2013. — № 25 (328). — С. 37–45.
6. Портнов А.В. Экологическое предпринимательство как важнейшее направление инновационного развития региона // Вестник ВолГУ. Сер.3. Экономика. Экология. — 2012. — № 1. — С. 125–130.
7. Левин М., Матросова К. Экономические модели мониторинга качества окружающей среды в условиях неполной информации и высоких издержек // Вопросы экономики. — 2014. — № 4. — С. 99–123.