

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

© 2010 г. Е.Д. Копнова*, О.М. Розенталь**

** Московская финансово-промышленная академия*

119415 Москва, ГСП-1, ул. Удальцова, 31А

*** Институт водных проблем Российской академии наук*

119333 Москва, ул. Губкина, 3

Выполнен регрессионный анализ качества вод реки Исети в промышленной зоне Свердловской обл. с учетом объема отведения загрязнений в составе сточных вод техногенной природы и затрат на водоочистку. Установлена недостаточность водно-экологических инвестиций и возможность их более рационального использования путем направления на улучшение способности водного объекта к самоочищению.

Ключевые слова: гидрохимический показатель, самоочищение вод, инвестиции, интегральный показатель качества воды

Корректное управление водным фондом предполагает соблюдение эколого-экономического баланса, при котором вред, причиняемый природным объектам и их ресурсам, компенсируется водно-экологическими инвестициями из средств, получаемых за счет водопользования [4]. Обеспечение такого режима управления осложняется неопределенностью многих факторов, влияющих на принятие решений и порождающих риск неэффективного направления средств в водоохранные мероприятия. Повышение эффективности управленческих решений требует исследования зависимостей между показателями качества вод, характеристиками водопользования, объемами и направлением использования инвестиций. Для демонстрации этой работы и ее результативности с точки зрения оптимизации вложения средств в водно-экологические мероприятия указанные зависимости исследовались на 220-км участке р. Исети (бассейн р. Оби) в пределах промышленной зоны на территории Свердловской обл. (рис.1).

Использовались данные, ежемесячно получаемые по 52 гидрохимическим показателям на десяти постах (створах) Гидрометеослужбы за 1986 – 1997 гг., т.е. в период «перестройки» российской экономики, поэтому полученные результаты могут быть актуальны также и в современных условиях экономической рецессии. Техногенное воздействие на водный объект было представлено объемом годовых сбросов загрязняющих веществ в межстворных участках реки и суммами годовых инвестиций (в ценах, сопоставимых с современными) на водоохранные мероприятия. Эти данные были получены из отчетов крупных предприятий, расположенных вдоль русла реки (данные предоставлены ФГУ Уральский Центр стандартизации и метрологии – УРАЛТЕСТ), а также из Государственных докладов о состоянии и использовании водных ресурсов.

Задача исследования заключается в развитии методики оценки эффективности выделяемых инвестиций и их оптимизации по критерию обеспечения приемлемого качества природных вод. При этом основными факторами влияния выступали антропогенная нагрузка на речные воды (здесь – водоотведение), а также программы восстановления и защиты речных вод.

Исследование включало формирование интегрального показателя качества речной воды на базе гидрохимических показателей и регрессионный анализ панельных данных, в том числе

исследование степени влияния сбросов сточных вод и инвестиций в водоохранную деятельность на качество речных вод;

учет воздействия природного фактора очищения на качество воды;

анализ динамических моделей.

ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВА РЕЧНОЙ ВОДЫ

Для формирования интегрального показателя качества речной воды данные, характеризующие загрязнение по каждому створу, подвергались факторному анализу. Использование метода главных компонент (с варимаксным вращением корреляционной матрицы) при анализе показателей загрязнения позволило выделить три основных фактора, ответственных почти за половину общей дисперсии. Результаты отличались по створам лишь долями дисперсий, соответствующими этим факторам. Фактор 1 существенно проявляется в органических веществах, фактор 2 – в минерализации, фактор 3 – в цветных металлах и во взвесах. Последнее обстоятельство согласуется с данными о быстрой адсорбции ионов цветных металлов на поверхностях взвешенных частиц кремнеземной или глиноземной природы. Этот вывод позволяет рекомендовать простой способ очистки воды от значительной части цветных металлов отфильтровыванием взвесей.

Исследование показало, что содержание в воде типичных представителей главных компонент по всем створам испытывает отчетливые сезонные колебания, причем, наиболее высокая концентрация соответствует весеннему и осеннему периоду. На рис. 2 приводятся ежемесячные значения временных рядов трех основных показателей загрязнения на одном из створов за 12 лет наблюдения. Видно, что на фоне таких колебаний отчетливо проявляется положительная тенденция загрязнения вод Cu , но отсутствует заметный тренд содержания N и показателей минерализации. Синхронно с концентрацией Cu изменяется и концентрация других цветных металлов (Ni , Cr , Al), а синхронно с концентрацией N – концентрация органических веществ, причем, эти закономерности проявляются на

всех створах. Столь же отчетливо проявляется отрицательная тенденция загрязнения вод цветными металлами в 1989 – 1990 гг., характеризующая кризис производства в регионе.

Характерно, что вследствие особенностей геохимических провинций, на которых формируются воды реки, уровень их фонового загрязнения цветными металлами изначально повышен. Для оценки этого уровня удобно использовать интегральный показатель качества Q как сумму фактической концентрации перечисленных металлов C_i в единицах предельно допустимой концентрации (ПДК) веществ для водных объектов рыбохозяйственного назначения, каковым является Исеть

$$Q = \sum_i \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} .$$

Даже в дачной местности (зона с. Палкино в верховьях реки) величина Q превышает ПДК в 25 – 30 раз.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ СБРОСОВ СТОЧНЫХ ВОД И ИНВЕСТИЦИЙ В ВОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА КАЧЕСТВО РЕЧНЫХ ВОД

Рассматривалась задача оценки зависимости показателя Q , отражающего среднегодовой уровень загрязнения реки, от инвестиций в водоохранные мероприятия – INV , млн. руб./год, и от сбросов сточных вод – $TECH$, десятки т/год. Разброс значений коэффициента корреляции между результативным показателем и каждым из перечисленных факторов (табл. 1) указал на необходимость использования регрессионного анализа по панельным данным [6].

Для анализа только сбалансированных панелей из рассмотрения были исключены данные по трем створам, где наблюдения осуществлялись только 7 лет.

Наиболее адекватной оказалась регрессионная модель с фиксированными (детерминированными) эффектами [1, 3]

$$Q_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta_1 TECH_{it} + \beta_2 INV_{it} + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} \sim iid(0, \sigma_\varepsilon^2),$$
$$i=1, 2, \dots, n, \quad t=1, 2, \dots, T.$$

Здесь α_i, λ_t – фиктивные переменные, отражающие особенности изменения величины Q_{it} , связанные со спецификой i -го створа и t -го года. β_1, β_2 – коэффициенты регрессии. ε_{it} – случайные ошибки, представляющие собой независимые, одинаково (для всех i и t) распределенные случайные величины с равным нулю математическим ожиданием и постоянной дисперсией σ_ε^2 .

Расчеты проводились в среде Eviews 5.0. Случайные эффекты исключались из рассмотрения после тестирования моделей с эффектами во времени. Тест Хаусмана (применяется для выбора модели либо с фиксированными, либо со случайными эффектами) для принятой модели свидетельствует в пользу фиксированных эффектов: $\chi^2(2)=25.06$, Prob=0.0000. Результаты оценивания параметров и тестирования модели приведены в табл. 2. Высокое значение коэффициента детерминации R^2 свидетельствует о тесной связи между факторами и результатами. Статистика Дарбина–Уотсона, близкая к двум, указывает на отсутствие автокорреляции остатков первого порядка $DW=1.70$. Значения вероятностей для Q -статистики в тесте Льюинга–Бокса указывают на отсутствие автокорреляции остатков более высоких порядков. Результаты тестирования на необходимость использования фиксированных эффектов (Fixed Effects Test) подтверждают эту необходимость. Результат тестирования на нелинейность (RESET-Test) указывает приемлемость выбора линейной модели. Результаты тестирования на отсутствие гетероскедастичности остатков (Breusch-Pagan Test) указывают на их отсутствие при уровне значимости 0.1. Проверка на нормальность остатков (Jarque-Bera Test) дает также приемлемые результаты. Поэтому делаем вывод о приемлемом качестве модели.

Интерпретация модели представлена в табл. 3. Значение константы C характеризует уровень фонового загрязнения воды, не связанного с анализируемыми факторами. Видно, что этот уровень превышает ПДК более чем в 30 раз, что отражает геохимические особенности водного объекта (влияние «хозяйки медной горы»). Коэффициент регрессии при INV , равный 0.78, характеризует изменение показателя качества воды Q при изменении инвестиций на единицу за год на одном створе. Таким образом, снижение уровня загрязнения на ~0.1 единицы ПДК на одном створе требует вложения средств в сумме несколько больше 1 млн. руб/год. Поэтому снижение уровня загрязнения на всех десяти створах до уровня эколого-рыбохозяйственных нормативов ПДК (на 30 ПДК) требует 3 млрд руб/год, а до величины природного фона (до уровня 25 ПДК) ~ 0.5 млрд руб./год. Из таблицы видно, что это соответственно в ~17 и ~3 раза больше фактически выделяемых средств. Следовательно, доведение качества вод до «стандартного» уровня практически не реально и вряд ли целесообразно в регионе, где водные экосистемы традиционно развиваются в специфических условиях [5]. В то же время, сумма инвестиций недостаточна и для восстановления качества вод до природного уровня, во всяком случае – при вложении средств в принятые проекты сооружения систем очистки сточных вод «на конце трубы». Этот вывод согласуется с результатами сопоставления приведенных в таблице средних эластичностей для анализируемых факторов. Выделяемых средств достаточно, чтобы не допустить снижения качества природных вод в среднем только от 30% отведенных в реку загряз-

няющих веществ. Остальное приводит к нарастанию величины Q , повышая «долг человека перед природой» [4].

Исследование эффектов адекватно отражает структуру загрязнения речной воды и особенности ее изменения во времени и по створам (табл. 4, 5). В частности, относительно малое загрязнение в годы экономического упадка сменяется после 1992 г. повышенным загрязнением, достигающем своего максимума в переломный период «дикого капитализма», характеризующегося ослаблением экологического контроля, и предшествует стабилизации показателей качества. В целом за годы наблюдений наиболее приемлемым качество воды сохраняется в верхней части течения (створ 1), а наихудшим – в расположенном ниже Екатеринбурга городе-спутнике Арамиле (створ 4).

УЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ САМООЧИЩЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ

Главная цель управления качеством вод р. Исети на рассматриваемом участке – снижение концентрации цветных металлов. Этому способствует осаждение взвешенных частиц, поскольку ионы этих металлов легко адсорбируются на их поверхности, как указывалось выше. Фактор самоочищения ($LAND$, десятки т.) был учтен в данной задаче как дополнительный. Его значения определялись расчетно с учетом разницы концентрации взвесей на смежных створах и скорости течения. Принималась модель постоянной интенсивности самоочищения, при которой масса осаждаемого загрязнения на участке реки между створами пропорциональна межстворному расстоянию. Для анализа была построена регрессионная модель по панельным данным, включающая, наряду с указанными выше регрессорами, третий фактор — показатель самоочищения. При этом створы были условно объединены в две группы – «промышленную» и «сельскую», учет специфики загрязнения которых учитывался соответственно переменными R_1 и R_2 . Результаты оценивания параметров и тестирования модели приведены в табл. 6.

Из этой таблицы видно, что показатели качества модели – коэффициент детерминации R^2 и значение статистики Дарбина–Уотсона DW – свидетельствуют об ее приемлемости для интерпретации результатов работы. При этом, оценки коэффициентов при факторах $TECH$ и INV близки к соответствующим оценкам в базовой модели, а оценки коэффициентов при R_1 и R_2 правдоподобно отражают факт повышенного загрязнения вод, зафиксированный на створах «промышленной» группы, по сравнению со створами «сельской» группы. Вычисленные на основе этих оценок соответствующие значения эластичностей ($E_{TECH}=0.1445$, $E_{INV}= - 0.2076$, $E_{LAND}= - 0.2282$) также позволяют утверждать, что для повышения качества речных вод эффективнее самоочищение, чем очистка от сбросов за-

грязняющих веществ «на конце трубы». На этом основании можно дать рекомендации о направлении инвестиций. В данном случае более эффективно направление инвестиций не на очистку сточных вод, а на мероприятия, повышающие интенсивность самоочищения водного объекта, например, путем обустройства береговой зоны, восстановление и укрепление имеющихся на реке гидротехнических сооружений (плотин и дамб).

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Для выяснения эффективности влияния на качество вод инвестиций, вложенных в предшествующие годы, оценивали модели с распределенными лагами. В табл. 7 приводятся результаты оценивания модели с лагом первого порядка $INV(-1)$.

Как видно из табл. 7, коэффициенты при лагированных переменных оказались незначимыми. Такой же результат был получен при рассмотрении влияния на Q инвестиций, вложенных за 2 или 3 года до рассматриваемого. Во всех этих случаях было установлено, что инвестиции прошлых лет очень слабо проявляют себя в текущем периоде. Видно, что очистка стоков «на конце трубы» оказывает лишь «короткое влияние» на качество непосредственно после инвестирования.

Рассматривалась также авторегрессионная модель первого порядка с основными факторами. Модель оценивалась с помощью перехода к первым разностям и использования обобщенного метода моментов. Учитывались эффекты по створам и во времени. Инструменты для оценки подбирались с учетом минимизации стандартной ошибки регрессии.

Результаты оценивания (табл. 8) показывают, что влияние прошлогоднего уровня загрязнения на каждом створе незначимо, что можно объяснить естественным переносом загрязнений в потоке речной воды. При этом видно, что по сравнению со статической моделью в долгосрочной динамике инвестиции проявляются заметнее.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ данных позволил выделить основные группы загрязняющих веществ, характерные для рассмотренного водного объекта, и обосновать выбор наиболее рационального способа очистки исследуемых речных вод; оценить дефицит водно-экологических инвестиций, достигающий для р. Исети сотен милл. руб., а также установить невозможность достижения нормативного качества воды вследствие чрезмерно высокого уровня превышения природного фона на исследуемом речном участке; обосновать целесообразность переориентации инвестиций от «очистки на конце трубы» к гидротехническим мероприятиям для восстановления водного объекта и повышения его способно-

сти к самоочищению; указать на преобладание «коротких» инвестиций и недостаточную роль превентивных мероприятий по очистке воды.

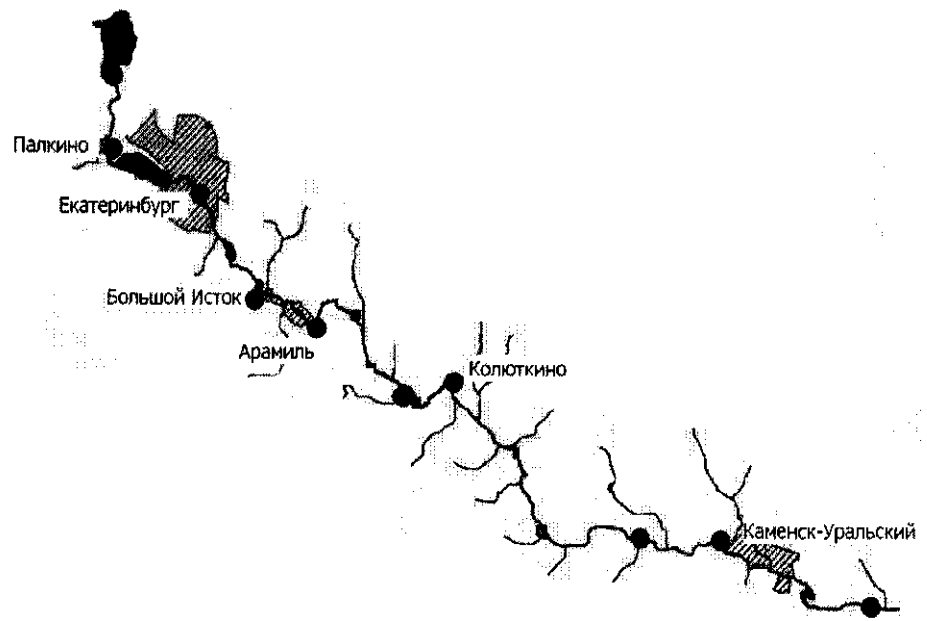
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Айвазян С.А., Мхитарян В.С.* Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити, 2001. 656 с.
2. *Бобылев С.Н.* Индикаторы устойчивого развития: региональное измерение. М.: Акрополь, Центр экологической политики России, 2007. 340 с.
3. *Вербик М.* Путеводитель по современной эконометрике. М.: Научная книга, 2008. 615 с.
4. *Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С.* Потребление воды. Экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006. 220 с.
5. *Левич А. П., Булгаков Н. Г., Максимов В. Н.* Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИИ-Природа, 2004. 234 с.
6. *Green W.H.* Econometric Analysis (Fifth edition). N-Y.: Prentice Hall International, Inc., 2003. 1026 с.

Подрисуночные подписи к статье Копновой Е.Д., Розенталя О.М.

Рис. 1. Гидрографическая схема участка р. Исети. Круги – действующие гидрохимические посты.

Рис. 2. Основные показатели загрязнения (створ 2 – Екатеринбург) в период с января 1986 по декабрь 1997 гг. 1 – концентрация Cu , мг/л, поделенным на 100, 2 – мг/л, помноженным на 100, 3 – N , мг/л.



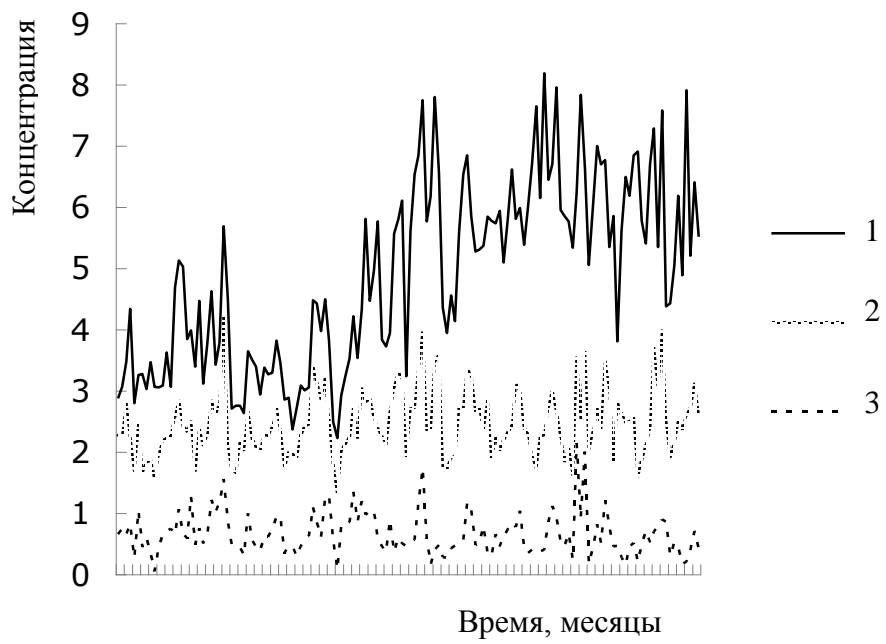


Таблица 1. Уровень корреляции факторов с показателем качества воды

Коэффициент корреляции	Створы						
	1	2	3	4	5	6	7
	Палкино	Екатеринбург	Большой Исток	Арамиль	Колюткино	Выше Каменск- Уральска	Ниже Каменск- Уральска
$r(Q,TECH)$	0.99	0.91	0.84	0.38	0.03	0.24	0.03
$r(Q,INV)$	-0.92	-0.82	-0.78	-0.95	-0.02	-0.96	-0.81

Таблица 2. Результаты оценивания и тестирования основной модели

Dependent Variable: Q											
Method		Panel Least Squares									
Variable		Coefficient			Std. Error			Prob			
C^*		31.8364			1.7372			0,0000			
$TECH$		0.7818			0.0695			0,0000			
INV		-0.0830			0.0486			0,0926			
$R^2=0.91$						$DW=1.70$					
Ljung-Box Test											
Q-Stat	0.31	1.88	2.58	2.79	3.85	4.49	4.73	7.50	8.04	8.13	8.14
Prob	0.57	0.38	0.46	0.59	0.57	0.61	0.69	0.48	0.53	0.61	0.70
Fixed Effects Test				$\chi^2(17)=166.08$				Prob=0.0000			
RESET-Test				$\chi^2(1)=2.07$				Prob=0.1505			
Breusch-Pagan Test				$\chi^2(2)= 1.40$				Prob>0.1000			
Jarque-Bera Test				$\chi^2(2)= 1.41$				Prob=0.4939			

* – Модели оценивались с константой C так, что суммы эффектов по створам и во времени равны ну-

лю: $\sum_{i=1}^N \alpha_i = 0, \quad \sum_{t=1}^T \lambda_t = 0.$

Таблица 3. Интерпретация результатов. Суммы инвестиций – млн. руб/год

Переменная	Коэффициент регрессии		Эластичность
<i>C</i>	31.84		0.18 – 0.06
<i>TECH</i>	0.78		
<i>INV</i>	– 0.08		
Средняя фактическая сумма инвестиций	Моделируемая сумма инвестиций для:		Коэффициент эколого-экономического дисбаланса [2]
	обеспечения рыбохозяйственных ПДК загрязнения	очистки до природного фона	
	180	3000	
			3

Таблица 4. Фиксированные эффекты во времени

Год	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
λ_t	-3.68	-5.77	-9.72	-9.54	-9.74	-2.66	7.37	9.72	5.95	4.83	6.44	6.80

Таблица 5. Фиксированные эффекты по створам

Населенный пункт	Палкино	Екатеринбург	Большой Исток	Арамиль	Колюткино	Выше Каменск-Уральска	Ниже Каменск-Уральска
α_i	- 13.74	1.57	8.99	13.97	- 3.15	- 5.33	- 2.31

Таблица 6. Результаты оценивания и тестирования модели с учетом самоочищения

Dependent Variable: Q			
Variable	Coefficient	Std. Error	Prob
<i>TECH</i>	0.6852	0.0659	0.0000
<i>INV</i>	- 0.1121	0.0424	0.0102
<i>LAND</i>	- 1.7379	0.2745	0.0000
R_1	27.6067	2.3017	0.0000
R_2	21.8294	3.2318	0.0000
$R^2=0.88$		$DW=1.25$	

Таблица 7. Результаты оценивания и тестирования модели с лагом первого порядка

Dependent Variable: <i>Q</i>			
Variable	Coefficient	Std. Error	Prob
<i>C</i>	31.5567	2.1559	0.0000
<i>TECH</i>	0.7883	0.0722	0.0000
<i>INV</i>	- 0.0707	0.0500	0.1634
<i>INV(-1)</i>	0.0084	0.0464	0.8567
<i>R</i> ² =0.92		<i>DW</i> =1.95	

Таблица 8. Результаты оценивания и тестирования авторегрессионной модели

Dependent Variable: Q			
Method	Panel GMM EGLS		
Variable	Coefficient	Std. Error	Prob
$Q(-1)$	- 0.1514	0.1880	0.4333
$TECH$	0.3309	0.1281	0.0208
INV	- 0.2223	0.0765	0.0109

$R^2=0.78$