

## Анализ тенденций водопользования на металлургических предприятиях Свердловской области

*В статье приводятся результаты эконометрического исследования тенденций водопользования в металлургической отрасли Свердловской области в 2000–2009 годы. Показана приоритетность экстенсивного использования водных ресурсов среди предприятий отрасли. Раскрыта роль системы оборотного водоснабжения как определяющего фактора для перехода к интенсификации и экологичности водопользования.*

**Ключевые слова:** водопользование; водные ресурсы; система оборотного водоснабжения; загрязнение водоемов; панельная коинтеграция.

**JEL classification:** C23; Q57; R58.

### 1. Введение

Решение задач рационального использования водных ресурсов в стране тесно связано с оценкой ее водохозяйственного комплекса. Анализ ежегодно публикуемых Государственных докладов «О состоянии водных ресурсов России» показывает, что воды в целом по России достаточно для ее использования в народном хозяйстве. Однако по оценкам специалистов Института водных проблем РАН к 2030 году европейская часть нашей страны при условии развития экономики с ориентацией преимущественно на экстенсивные факторы окажется водоемкой. При этом на первый план выйдет проблема качества деградирующего водного ресурса, связанная с затратами на его подготовку (Данилов-Данильян, Хранович, 2010).

В настоящее время дефицит воды заметно ощущается в бассейне Нижней Оби, особенно в Свердловской области, на территории которой находится большое количество водоемких производств. Данные материалов прошедшего в мае 2011 года в Екатеринбурге XI международного симпозиума-выставки «Чистая вода России» характеризуют ситуацию с водоснабжением на Среднем Урале как крайне неблагоприятную, как с точки зрения количества, так и качества вод. В частности, главные водохранилища региона заполнены лишь на 80%, а доля неочищенных сточных вод в структуре водоотведения в среднем по области составляет 23%. О слабой технической оснащенности водного хозяйства области свидетельствует то, что износ сетей водоснабжения и водоотведения составляет около 60%, причем в замене нуждается 48% сетей. Потребности развития водного хозяйства области составляют 203.7 млрд рублей.

На Среднем Урале в рамках принятой в 2009 году региональной комплексной программы «Чистая вода», направленной на совершенствование водного хозяйства, ведется активная разработка инвестиционных проектов модернизации систем водоснабжения и водоотведения (Галкин, 2010). Необходимость обоснования и координации этих проектов требует предва-

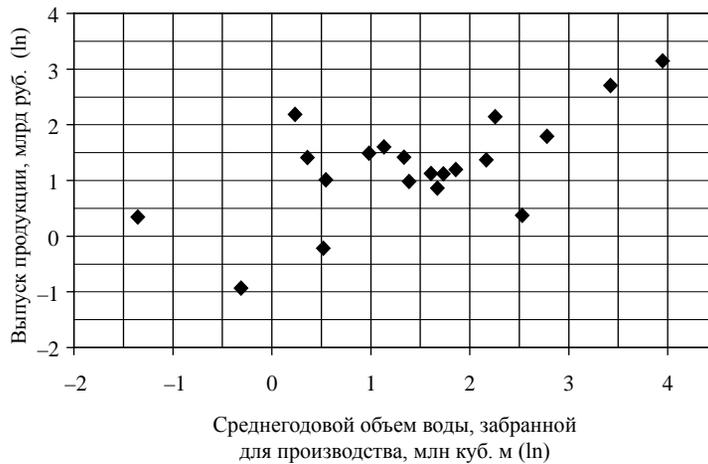
рительного исследования деятельности водопользователей. Практика такого комплексного исследования в настоящее время затруднена тем, что информация по водоснабжению и водоотведению каждого отдельного предприятия отделена от данных о результатах его хозяйственной деятельности. Так, в открытой периодической отчетности предприятий информация о затратах воды в «чистом» виде не представлена — она учитывается вместе с общими затратами на энергоресурсы. Обычно прогнозы строятся только по типовым экономическим показателям без обоснования обеспечения их водными ресурсами. Расчет эффективности водопотребления на каждом предприятии представляет собой сложную технико-экономическую задачу, связанную как с тонкостями конкретного производства, так и с уникальностью воды как экономического ресурса. При этом применение статистического подхода к изучению проблем водного хозяйства обычно ограничено дескриптивными методами анализа.

Целью настоящей работы является разработка эконометрического инструментария для анализа эколого-экономических тенденций водопользования в регионе, позволяющего на базе федеральной статистической отчетности осуществлять мониторинг водно-хозяйственной деятельности. В качестве объектов анализа были выбраны предприятия металлургии, которые дают весомый вклад в промышленное производство Свердловской области (около 50%) и металлургию России (около 60%). Выбор отрасли определялся еще и тем, что металлургия является одним из наиболее водоемких производств, и, если следовать указанным выше прогнозным оценкам специалистов ИВП РАН, может в перспективе заменить топливно-энергетическое сырье в российском экспорте. Моделирование взаимосвязей показателей системы водопользования было направлено на определение классификации заводов по связи выпуска продукции и затрат водного ресурса, оценку роли основных факторов оптимизации затрат водного ресурса — системы оборотного водоснабжения и мощности очистных сооружений, выявление наиболее проблемных предприятий-водопользователей и обоснование необходимости технико-экономического анализа для решения их проблем.

## 2. Исходная информация

Для анализа использовались данные ежегодной государственной статистической отчетности Нижне-Обского бассейнового управления за 2000–2009 годы, сведения из годовых и квартальных отчетов предприятий, а также с интернет-портала «Уральский рынок металлов» (<http://www.urm.ru>). В частности, имелась информация об источниках водного ресурса, об объемах забора и отведения воды, об уровне загрязнения сточных вод, о масштабах деятельности системы оборотного водоснабжения и мощности очистных сооружений. В качестве экономического показателя деятельности заводов рассматривался выпуск основной продукции (около 90% общего объема) в ценах 2000 года. Перечень используемых в работе показателей приведен в Приложении (табл. П1).

Из сорока шести металлургических предприятий Свердловской области, отчитывающихся по форме №2-ТП (водхоз), сведения о выпуске за рассматриваемый период имелись только для двадцати четырех предприятий. При этом для анализа использовались данные только по двадцати из них, поскольку четыре завода выделялись явной нестабильностью и деградацией производства. В Приложении приведен список выбранных предприятий с указанием среднегодовых значений основных показателей водопользования (табл. П2), а на рис. 1 эти объекты представлены в системе координат «затраты–выпуск».

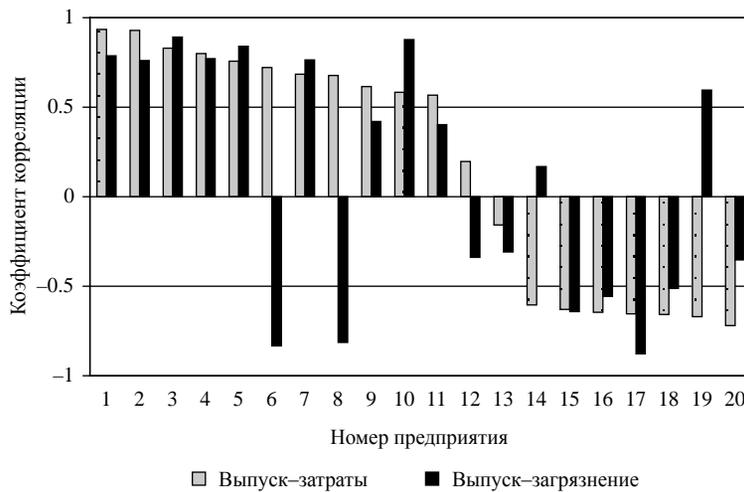


**Рис. 1.** Предприятия-водопользователи

Приведенный здесь график, в первую очередь, является иллюстрацией однородности предприятий по рассматриваемым показателям. Он также указывает на явную связь между этими показателями, которая имеет место вопреки сохранившейся до сих пор в российском производственном менеджменте недооценке водного ресурса.

### 3. Определение тенденций водопользования

Анализ данных водохозяйственной деятельности по каждому выбранному предприятию показал, что рост производства в рассматриваемый период сопровождался стабильной динамикой большинства показателей, в том числе производственных затрат водного ресурса и объема загрязняющих веществ в сточных водах. По годовым данным были получены оценки коэффициентов корреляции между выпуском продукции и указанными показателями («выпуск–затраты» и «выпуск–загрязнение») (рис. 2). Только для двух предприятий (12 и 13) из двадцати эти оценки оказались незначимыми (на уровне значимости 10%). Знаки оценок соответствовали интенсивному или экстенсивному водопользованию, т. е. снижению или соответственно увеличению затрат водного ресурса при увеличении выпуска продукции. При этом меньшую (40%) долю из выбранных предприятий составляли интенсивные водопользователи, а большую (60%) — экстенсивные. Дополнительно на эти данные были наложены сведения о мощности источника водного ресурса. На рисунке 2 значения показателя «выпуск–забор» для предприятий, работающих в условиях малой водности, помечены точками. Видно, что это — почти все интенсивные водопользователи, а среди экстенсивных предприятий их только два (1 и 10). При анализе связи «выпуск–загрязнение» было получено, что для 75% предприятий оценка коэффициента корреляции между выпуском продукции и объемом загрязняющих веществ в сточных водах значимо (на уровне 10%) отличалась от нуля. Почти все экстенсивные водопользователи имели тенденцию роста загрязнения стоков. Среди интенсивных водопользователей такое выделилось только одно (19). Оно может быть отнесено к проблемным объектам, требующим дополнительного технико-экономического обоснования рационализации водопользования.



**Рис. 2.** Оценка связи затрат водного ресурса и загрязнения с выпуском продукции

Для подтверждения выводов о существовании тенденций интенсивного и экстенсивного водопользования для каждой из двух указанных групп предприятий на панельных данных оценивалась модель коррекции ошибок<sup>1</sup>. Рассматривались следующие уравнения связи между затратами водных ресурсов (*vlm*) и выпуском продукции (*sls*) с механизмом коррекции ошибок (*ecm*), учитывающие индивидуальные тренды и константы<sup>2</sup>:

$$sls_{i_k t} = \alpha_{i_k} + \delta_{i_k} t + \beta vlm_{i_k t} + \varepsilon_{i_k t}, \tag{1}$$

$$\Delta sls_{i_k t} = \alpha_{i_k}^{(\Delta)} + \beta^{(\Delta)} \Delta vlm_{i_k t} + \gamma ecm_{i_k t-1} + \varepsilon_{i_k t}^{(\Delta)}, \tag{2}$$

где  $\alpha, \delta, \beta, \alpha^{(\Delta)}, \beta^{(\Delta)}, \gamma$  — регрессионные коэффициенты;  $\varepsilon, \varepsilon^{(\Delta)}$  — регрессионные ошибки;  $\Delta sls, \Delta vlm$  — абсолютные приросты показателей *sls* и *vlm*; *ecm* — регрессионные остатки уравнения (1); *t* — время,  $t = 1, 2, \dots, 10$ ;  $i_k$  — номер предприятия ( $k = 1, 2$ ),  $i_1 = 1, 2, \dots, 12$ ;  $i_2 = 1, 2, \dots, 8$ .

Наличие коинтеграции между *vlm* и *sls* проверялось с помощью панельного теста Фишера–Йохансена с использованием *F*-статистики, построенной на основе индивидуальных *P*-значений  $\lambda_{trase}$ - и  $\lambda_{max}$ -критериев из теста Йохансена (Brooks, 2008) на коинтеграцию<sup>3</sup>. Нулевая гипотеза о наличии коинтегрирующего соотношения для обеих групп данных не отвергалась на уровне значимости 5%. Причем из табл. 1 по *P*-значениям *F*-статистики видно, что для первой группы данных существование искомой связи проявляется

<sup>1</sup> Все расчеты выполнялись в EViews 7.1.

<sup>2</sup> Результаты панельных тестов на стационарность всех используемых в работе временных рядов по выделенным группам предприятий приведены в Приложении (табл. ПЗ).

<sup>3</sup> Известно (Maddala, Wu, 1999), что *F*-статистика, равная  $-2 \sum_{i=1}^n \ln(\pi_i)$ , где  $\pi_i$  — индивидуальные *P*-значения  $\lambda_{trase}$ - и  $\lambda_{max}$ -критериев, при нулевой гипотезе о каждом значении ранга коинтеграции в предположении независимости *n* рассматриваемых объектов имеет асимптотическое  $\chi^2$ -распределение с  $2n$  степенями свободы.

более уверенно, чем для второй. Дополнительно использовались семь панельных тестов Педрони (Pedroni, 1999), проверяющих гипотезу о наличии единичного корня в остатках уравнения (1)<sup>4</sup>. Нулевая гипотеза об отсутствии коинтеграции между *vlm* и *sls* отвергалась для первой группы предприятий в четырех тестах из семи, для второй — только в трех (на уровне значимости 5%).

**Таблица 1.** Результаты панельного теста Фишера–Йохансена на коинтеграцию *vlm* и *sls* ( $H_0$ : ранг коинтеграции =  $r^*$ )

	Экстенсивные водопользователи				Интенсивные водопользователи			
	<i>F</i> -статистика ( $\lambda_{trase}$ -тест)	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -статистика ( $\lambda_{max}$ -тест)	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -статистика ( $\lambda_{trase}$ -тест)	<i>P</i> -значение	<i>F</i> -статистика ( $\lambda_{max}$ -тест)	<i>P</i> -значение
$r^*=0$	323.61	0.000	183.42	0.000	105.23	0.000	85.94	0.000
$r^*=1$	28.74	0.230	28.74	0.230	24.85	0.073	24.85	0.073

*Примечание.* Спецификация тестов предполагала наличие линейного тренда в данных и константы в коинтегрирующем соотношении.

Достоверность идентифицируемости уравнения для обеих групп объектов подтверждалась всеми панельными тестами (Baltagi, 2005) на стационарность соответствующих ему регрессионных остатков на уровне значимости 1% (табл. 2). Компоненты коинтегрирующих векторов значимы на уровне 1% и имеют знаки, соответствующие направлению связи между рассматриваемыми показателями для каждой группы данных.

**Таблица 2.** Результаты идентификации уравнения (1)

	Экстенсивные водопользователи		Интенсивные водопользователи	
	Коэффициент	Стандартная ошибка	Коэффициент	Стандартная ошибка
<i>vlm</i>	0.717***	0.133	-0.170***	0.039
Проверка гипотезы $H_0$ : ряд остатков содержит единичный корень				
Тест	Статистика	<i>P</i> -значение	Статистика	<i>P</i> -значение
<i>LLC</i>	-4.094	0.000	-6.641	0.000
<i>ADF</i>	51.877	0.001	50.689	0.000
<i>PP</i>	69.244	0.000	104.999	0.000

*Примечание.* Для оценивания использовался панельный метод наименьших квадратов. Спецификации всех тестов не включали индивидуальные эффекты. Выбор длины лага осуществлялся автоматически на основе критерия Шварца при максимальной длине лага, равной двум.

\*\*\* — значимость на 1%-ном уровне.

Оценка качества уравнения (2), ожидаемый знак значимых на уровне 1% коэффициентов при  $est_{t-1}$  подтверждают наличие долгосрочной связи *vlm* и *sls* для обеих групп данных

<sup>4</sup> Спецификация тестов предполагала детерминированные константы и тренды. Выбор длины лага осуществлялся автоматически на основе критерия Шварца при максимальной длине лага, равной двум.

(табл. 3). Период возвращения на равновесную траекторию развития<sup>5</sup> для второй группы меньше ( $1/0.849=1.18$ ), чем для первой ( $1/0.127=7.87$ ), что характеризует большую устойчивость тенденции интенсивного водопользования по сравнению с тенденцией экстенсивного водопользования в рассматриваемом периоде времени.

**Таблица 3.** Результаты идентификации уравнения (2)

	Экстенсивные водопользователи		Интенсивные водопользователи	
	Коэффициент	Стандартная ошибка	Коэффициент	Стандартная ошибка
$\Delta vlm$	0.092	0.077	-0.142	0.076
$est$	-0.127***	0.050	-0.849***	0.114
$R^2 = 0.32, DW = 2.37,$ $F = 2.05, P\text{-значение} = 0.02$		$R^2 = 0.48, DW = 1.87,$ $F = 6.48, P\text{-значение} = 0.00$		

Примечание. \*\*\* — значимость на 1%-ном уровне.

Заметим, что при аналогичном анализе, проведенном для всей совокупности объектов в целом, определить значимые компоненты искомого коинтегрирующего вектора не удалось. Поэтому деление предприятий на группы позволило обосновать приоритетность экстенсивного водопользования предприятий отрасли в рассматриваемом периоде, а также подтвердить значимость водного ресурса для их экономического развития.

#### 4. Анализ факторов использования водных ресурсов

В качестве основных факторов затрат водного ресурса и загрязнения водоемов сточными водами рассматривались показатели деятельности очистных сооружений и системы оборотного водоснабжения. Первый показатель был выбран с учетом экологического принципа лимитирования муниципалитетом забора воды из природного источника. Являясь мерой социальной ответственности заводов, он отражал затраты на очистку воды при водоотведении и учитывался в форме доли нормативно очищенной воды в общем объеме сброса ( $cln$ ). Выбор второго показателя связан с характеристикой использования забранной воды в производстве, которая наиболее ясно проявляется в деятельности системы оборотного водоснабжения. Эффективность работы этой системы определяется, с одной стороны, экономией природной воды и снижением загрязнения водоемов, а с другой — потерями воды с выбросами пара в атмосферу и деградацией оборудования из-за химической и биологической активности воды (Аксенов и др., 2005). Оценка деятельности системы оборотного водоснабжения учитывалась в форме отношения фактического годового расхода воды в ней к объему воды, забранной для производства ( $crc$ ).

Связь указанных показателей с затратами водного ресурса изучалась на основе следующих зависимостей для двух групп предприятий интенсивного и экстенсивного водопользования:

<sup>5</sup> Здесь под равновесной траекторией развития системы понимается ее долгосрочное динамическое равновесие в условиях коинтеграционной связи временных рядов.

$$vlm_{i_k t} = \alpha_{i_k} + \beta_1 crc_{i_k t} + \beta_2 cln_{i_k t} + \varepsilon_{i_k t}, \quad (3)$$

$$\Delta vlm_{i_k t} = \alpha_{i_k}^{(\Delta)} + \beta_1^{(\Delta)} \Delta crc_{i_k t} + \beta_2^{(\Delta)} \Delta cln_{i_k t} + \gamma ecn_{i_k t-1} + \varepsilon_{i_k t}^{(\Delta)}, \quad (4)$$

где  $i_1 = 1, 2, \dots, 12$ ;  $i_2 = 1, 2, \dots, 8$ ;  $t = 1, 2, \dots, 10$ .

Некоторые результаты коинтеграционного анализа переменных  $vlm$ ,  $crc$ ,  $cln$  приведены в табл. 4–6. Нулевая гипотеза о наличии одного коинтегрирующего соотношения для обеих групп данных не отвергалась на уровне значимости 5%. Из таблиц видно, что для второй группы водопользователей по сравнению с первой увереннее подтверждается<sup>6</sup> и более устойчива долгосрочная связь затрат водного ресурса с рассматриваемыми факторами водопользования, гораздо заметнее роль системы оборотного водоснабжения. Различие оценок коэффициента при  $cln$ , особенно незначимость этой оценки на уровне 10% для второй группы в (3), возможно, соответствует тому, что при интенсификации водопользования происходит переориентация затрат с очистки сточных вод при водоотведении на очистку непосредственно в производственной системе водооборотного снабжения. Интерпретации оценок обоснованы на уровне значимости 5% в соответствии с результатами анализа остатков уравнения (3) и значением  $F$ -статистики для уравнения (4).

**Таблица 4.** Панельный тест Фишера–Йохансена на коинтеграцию  $vlm$ ,  $crc$ ,  $cln$   
( $H_0$ : ранг коинтеграции= $r^*$ )

	Экстенсивные водопользователи				Интенсивные водопользователи			
	$F$ -статистика ( $\lambda_{trace}$ -тест)	$P$ -значение	$F$ -статистика ( $\lambda_{max}$ -тест)	$P$ -значение	$F$ -статистика ( $\lambda_{trace}$ -тест)	$P$ -значение	$F$ -статистика ( $\lambda_{max}$ -тест)	$P$ -значение
$r^*=0$	85.35	0.000	67.48	0.000	50.84	0.000	43.78	0.000
$r^*=1$	40.81	0.018	31.37	0.144	21.37	0.092	26.06	0.168

*Примечание.* Спецификация тестов предполагала наличие линейного тренда в данных и константы в коинтегрирующем соотношении.

**Таблица 5.** Результаты идентификации уравнения (3)

	Экстенсивные водопользователи		Интенсивные водопользователи	
	Коэффициент	Стандартная ошибка	Коэффициент	Стандартная ошибка
$crc$	-0.390***	0.055	-1.040***	0.052
$cln$	0.622***	0.201	-0.132	0.128

*Примечание.* \*\*\* — значимость на 1%-ном уровне.

<sup>6</sup> Тесты Педрони подтверждают коинтеграцию для первой группы в трех тестах, во второй — в четырех тестах из семи (на уровне значимости 10%).

Таблица 6. Результаты идентификации уравнения (4)

	Экстенсивные водопользователи		Интенсивные водопользователи	
	Коэффициент	Стандартная ошибка	Коэффициент	Стандартная ошибка
$\Delta crc$	-0.597***	0.051	-0.894***	0.054
$\Delta cln$	0.213	0.200	-0.323	0.222
$esm$	-0.244***	0.071	-0.336***	0.092
	$R^2 = 0.68, DW = 1.93,$ $F = 14.00, P\text{-значение} = 0.00$		$R^2 = 0.85, DW = 2.03,$ $F = 34.34, P\text{-значение} = 0.00$	

Примечание. \*\*\* — значимость на 1%-ном уровне.

Таким образом, результаты расчетов указывают на направление совершенствования водного хозяйства предприятий отрасли путем перехода к наиболее полному использованию систем оборотного водоснабжения и, в частности, применению новых доступных технологий глубокой очистки воды в рамках этой системы.

Результативность экологического менеджмента на производстве для каждой из групп интенсивных и экстенсивных водопользователей изучалась на основе приведенных ниже соотношений (5)–(6). В качестве показателя загрязнения водоемов учитывалась сумма загрязняющих веществ, сбрасываемых предприятиями со сточными водами ( $pll$ ). Следует отметить, что при разных тенденциях изменения этого показателя для разных предприятий (рис. 2) характеристика деятельности очистных сооружений ( $cln$ ) для всех из них имела тенденцию роста.

$$pll_{i_k t} = \alpha_i + \beta_1 crc_{i_k t} + \beta_2 cln_{i_k t} + \varepsilon_{i_k t}, \quad (5)$$

$$\Delta pll_{i_k t} = \alpha_i^{(\Delta)} + \beta_1^{(\Delta)} \Delta crc_{i_k t} + \beta_2^{(\Delta)} \Delta cln_{i_k t} + \gamma esm_{i_k t-1} + \varepsilon_{i_k t}^{(\Delta)}, \quad (6)$$

где  $i_1 = 1, 2, \dots, 12$ ;  $i_2 = 1, 2, \dots, 8$ ;  $t = 1, 2, \dots, 10$ .

Некоторые результаты коинтеграционного анализа переменных  $pll$ ,  $crc$ ,  $cln$  приведены в табл. 7–9. Нулевая гипотеза о наличии коинтегрирующего соотношения для обеих групп данных не отвергалась на уровне значимости 5%. Из таблиц видно, что связь загрязнения сточных вод с факторами водопользования увереннее подтверждается<sup>7</sup> для первой группы водопользователей по сравнению со второй. Роль системы оборотного водоснабжения в этой связи проявляется одинаково существенно для обеих групп данных. Оценка коэффициента при  $cln$  в (5) для экстенсивных водопользователей характеризует недостаточность деятельности очистных сооружений при водоотведении, поскольку указывает на то, что наращивание затрат на очистку сточных вод сопровождается в среднем по группе ростом загрязнения водоемов. Для интенсивных водопользователей оценка коэффициента при  $cln$  в модели (5)–(6) незначима (на уровне 10%), что соответствует неоднозначности связи этого показателя с  $pll$  для различных представителей группы (см. рис. 2) и требует более детального исследования. В частности, для Полевского криолитового завода, выделяющегося в своей

<sup>7</sup> Тесты Педрони подтверждают коинтеграцию для первой группы в четырех тестах, во второй — в трех тестах из семи (на уровне значимости 5%).

группе направлением связи  $sls$  и  $pll$ , анализ квартальных данных указал на тесную положительную связь  $cln$  с объемом сброса особо опасного загрязнителя — фтора, доля которого в массе сбросов составляет в среднем около 15%.

Период возвращения к долгосрочному равновесию для второй группы данных заметно меньше, чем для первой, что может свидетельствовать об экологическом преимуществе интенсивного водопользования, если учесть, что в большинстве своем для этих предприятий характерно снижение загрязнения стоков. Интерпретации оценок обоснованы на уровне значимости 5% в соответствии с результатами анализа остатков уравнения (5) и значением  $F$ -статистики для уравнения (6).

**Таблица 7.** Панельный тест Фишера–Йохансена на коинтеграцию  $pll$ ,  $crc$ ,  $cln$  ( $H_0$ : ранг коинтеграции =  $r^*$ )

	Экстенсивные водопользователи				Интенсивные водопользователи			
	$F$ -статистика ( $\lambda_{trase}$ -тест)	$P$ -значение	$F$ -статистика ( $\lambda_{max}$ -тест)	$P$ -значение	$F$ -статистика ( $\lambda_{trase}$ -тест)	$P$ -значение	$F$ -статистика ( $\lambda_{max}$ -тест)	$P$ -значение
$r^*=0$	80.65	0.000	86.32	0.000	311.5	0.000	303.9	0.000
$r^*=1$	23.34	0.500	24.67	0.424	21.74	0.084	15.99	0.3140

*Примечание.* Спецификация тестов предполагала наличие линейного тренда в данных и константы в коинтегрирующем соотношении.

**Таблица 8.** Результаты идентификации уравнения (5)

	Экстенсивные водопользователи		Интенсивные водопользователи	
	Коэффициент	Стандартная ошибка	Коэффициент	Стандартная ошибка
$crc$	-0.534***	0.108	-0.521***	0.106
$cln$	1.478***	0.392	0.361	0.580

*Примечание.* \*\*\* — значимость на 1%-ном уровне.

**Таблица 9.** Результаты идентификации уравнения (6)

	Экстенсивные водопользователи		Интенсивные водопользователи	
	Коэффициент	Стандартная ошибка	Коэффициент	Стандартная ошибка
$\Delta crc$	-0.153	0.108	-0.171	0.125
$\Delta cln$	0.226	0.422	-0.631	0.546
$est$	-0.221***	0.081	-0.459***	0.103
	$R^2 = 0.32$ , $DW = 2.21$ , $F = 1.82$ , $P$ -значение = 0.05		$R^2 = 0.42$ , $DW = 1.82$ , $F = 2.85$ , $P$ -значение = 0.01	

*Примечание.* \*\*\* — значимость на 1%-ном уровне.

Таким образом, анализ связи  $pll$ ,  $crc$  и  $cln$  указывает на преобладание устойчивой тенденции деградации водоемов в регионе, а также на необходимость регулирования экологических норм очистки стоков с учетом класса опасности загрязняющих веществ.

## 5. Заключение

В работе предложена методика эконометрического моделирования системы водопользования, позволяющая при наличии статистической информации обосновывать наличие тенденций водопользования, проводить их сравнительный анализ, количественно характеризовать роль важнейших эколого-экономических факторов водохозяйственной деятельности.

Выполненное по данным 2000–2009 годов исследование показало, что экстенсивное водопользование являлось в рассматриваемый период приоритетным направлением водохозяйственной деятельности предприятий металлургической отрасли в регионе, а также подтвердило значимость водного ресурса для их экономического развития. Было продемонстрировано, что, несмотря на повышение социальной ответственности и увеличение масштаба очистки сточных вод, имела место устойчивая тенденция деградации водных источников, проявляющаяся в условиях экстенсивного водопользования. Раскрыта роль системы оборотного водоснабжения как определяющего фактора для перехода к интенсификации и экологичности водопользования. Показана необходимость совершенствования региональной системы мониторинга водопользования с учетом расширения его статистической базы.

Предлагаемый алгоритм базируется на общих принципах водохозяйственной деятельности и во многом определяется наличием и качеством имеющейся о ней статистической информации. Универсальность и открытость модели позволяет использовать ее и для современного водопользования с многоступенчатой системой водооборотных циклов.

## Список литературы

Аксенов В. И., Ладыгичев М. Г., Ничкова И. И., Никулин В. А., Кляйн С. Э., Аксенов Е. В. (2005). *Водное хозяйство промышленных предприятий*. Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1 / Под ред. В. И. Аксенова. М: Теплотехник.

Галкин Ю. А. (2010). Технологическая модель сложных систем водного хозяйства промышленных предприятий и комплексов. *Водоснабжение и санитарная техника*, 6, 27–31.

Данилов-Данильян В. И., Хранович И. Л. (2010). *Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования*. М.: Научный мир.

Baltagi B. H. (2005). *Econometric analysis of panel data*. John Wiley & Sons Ltd.

Brooks C. (2008). *Introductory econometrics for finance*. Cambridge University press.

Maddala G. S., Wu S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 631–652.

Pedroni P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, 653–670.

## Приложение

Таблица П1. Используемые показатели

Показатель	Характеристика
Затраты водного ресурса $v/s$ (млн куб. м в год, логарифм)	Объем воды, забранной для производственных нужд
Выпуск продукции $s/s$ (млрд руб. в год, логарифм)	Объем выручки от реализации продукции, в ценах 2000 года
Мощность системы оборотного водоснабжения $crc$ (логарифм)	Отношение расхода воды в системе оборотного водоснабжения к объему воды, забранной для производственных нужд
Мощность очистных сооружений $cln$	Отношение объема нормативно очищенной отведенной воды к объему водоотведения

Таблица П2. Предприятия-водопользователи: среднегодовые значения основных показателей (2000–2009 годы)

№	Название	Объем забора, млн куб. м	Выпуск продукции, млрд руб.	Объем сброса загрязняющих веществ, тыс. тонн	Отношение к выделенным группам*
1	Синарский трубный завод, Первоуральск	6.42	3.31	3.69	Э
2	Высокогорский горно-обогатительный комбинат, Нижний Тагил	5.00	3.09	3.81	Э
3	Корпорация ВСМПО-АВИСМА, Верхняя Салда	30.61	14.92	4.71	Э
4	Богословский алюминиевый завод, Красноуральск	9.54	8.55	4.37	Э
5	Средне-уральский медеплавильный завод, Ревда	3.80	4.12	3.59	Э
6	ОАО «Святогор», Красноуральск	1.72	2.76	0.03	Э
7	Горно-обогатительный комбинат «Ванадий», Качканар	12.55	1.45	4.27	Э
8	Нижнесергинский металлургический завод, Ревда	1.43	4.10	0.13	Э
9	Нижнетагильский металлургический завод	51.75	23.26	7.16	Э
10	Каменск-Уральский металлургический завод	3.10	4.95	0.43	Э
11	Металлургический завод им. Серова, Серов	5.32	2.37	1.23	Э
12	ОАО «Севералюкситруда», Североуральск	4.01	2.68	22.35	Э
13	Богословское рудоуправление, Красноуральск	0.73	0.39	1.97	И
14	Новотрубный завод, Первоуральск	5.66	3.06	3.64	И
15	Северский трубный завод, Полевской	8.73	3.92	3.51	И
16	ОАО «Уралэлектромедь», Верхняя Пышма	1.27	8.91	0.15	И
17	ОАО «ВИЗ-сталь», Екатеринбург	2.67	4.44	0.02	И
18	ОАО «Уралредмет», Верхняя Пышма	0.26	1.41	0.04	И
19	Полевской криолитовый завод, Полевской	1.68	0.81	0.50	И
20	Каменск-Уральский алюминиевый завод	16.10	5.99	1.98	И

Примечание. \* — предприятия с экстенсивным (Э) и интенсивным (И) водопользованием.

**Таблица ПЗ.** Результаты панельных тестов на стационарность временных рядов  
(гипотеза  $H_0$ : временной ряд содержит единичный корень)

<i>Экстенсивные водопользователи</i>								
Тест	Значение	<i>P</i> -значение	Значение	<i>P</i> -значение	Значение	<i>P</i> -значение	Значение	<i>P</i> -значение
	статистики		статистики		статистики		статистики	
	<i>vlm</i>		$\Delta vlm$		<i>sls</i>		$\Delta sls$	
<i>LLC</i>	-1.01	0.15	-6.45	0.00	-1.55	0.06	-3.02	0.00
<i>ADF</i>	17.51	0.83	61.45	0.00	8.96	0.99	46.68	0.00
<i>PP</i>	21.37	0.62	125.03	0.00	8.44	0.99	84.76	0.00
	<i>crc</i>		$\Delta crc$		<i>cln</i>		$\Delta cln$	
<i>LLC</i>	-0.47	0.32	-5.74	0.00	0.49	0.69	-6.52	0.00
<i>ADF</i>	17.03	0.85	56.08	0.00	17.65	0.82	83.71	0.00
<i>PP</i>	15.67	0.90	122.19	0.00	52.09	0.00	111.30	0.00
<i>Интенсивные водопользователи</i>								
	<i>vlm</i>		$\Delta vlm$		<i>sls</i>		$\Delta sls$	
<i>LLC</i>	0.25	0.60	-4.35	0.00	-2.20	0.01	-8.79	0.00
<i>ADF</i>	10.89	0.82	44.05	0.00	18.22	0.31	52.77	0.00
<i>PP</i>	12.79	0.69	72.25	0.00	43.58	0.00	107.22	0.00
	<i>crc</i>		$\Delta crc$		<i>cln</i>		$\Delta cln$	
<i>LLC</i>	-0.20	0.41	-5.47	0.00	-1.17	0.12	-6.37	0.00
<i>ADF</i>	7.94	0.95	46.61	0.00	18.35	0.30	50.42	0.00
<i>PP</i>	12.75	0.69	75.16	0.00	44.25	0.00	80.44	0.00