

Критериальный анализ эколого-экономической эффективности мероприятий по защите водного бассейна

д.т.н. В.Е. Лотош

В данном сообщении продолжено рассмотрение возможностей критериального анализа для выявления наиболее эффективных природоохранных мероприятий. Теоретической базой исследований служит работа [1]. В ней автором введен ряд новых фундаментальных понятий экономики природопользования (токсическая, энергетическая и суммарная экологическая опасности, чистый токсикологический эффект, абсолютная токсикологическая эффективность и др.) В сообщении [2] критериальный анализ применен для оценки эколого-экономической эффективности мероприятий по защите воздушного бассейна, осуществленных на крупном промышленном предприятии (на примере Златоустовского металлургического завода). В этой работе критериальный анализ распространен на мероприятия по защите водного бассейна.

Объектом анализа явилась целевая комплексная программа «Водохозяйственное обустройство рек бассейна Оби в границах Свердловской области с целью устранения негативных экологических и социально-экономических последствий наводнений, маловодья и хозяйственного освоения территории» (ЦКП «Обь»). Она является составной частью общекбассейновой федеральной программы «Использование, восстановление и охрана водных ресурсов реки Оби» (ФЦП «Обь»).

Стратегический замысел ЦКП «Обь» заключается в решении основных водохозяйственных проблем области за счет проведения комплекса мер, значительно улучшающих, по мнению авторов программы, качество воды в поверхностных источниках питьевого водоснабжения, снижающих затраты на водоподготовку и водоотведение, создающих обустроенные и экологически чистые рекреационные зоны на реках и водохранилищах области. Эти решения касаются главным образом бассейна реки Тобол, поскольку Свердловская область является зоной формирования основной (80%) части его стока (реки Тавда, Тура, Пышма, Исеть).

Научно-технические, технологические и проектные мероприятия, предусмотренные ЦКП «Обь», сгруппированы в 10 блоков (табл. 1). Участниками разработки и реализации программы являются правительство и комитет по водному хозяйству

Свердловской области (генеральные заказчики), Российский НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов (генеральный разработчик), инвесторы (экологические фонды, банки, компании экологического страхования), потенциальные потребители результатов (водопользователи области), исполнители научно-исследовательских работ и проектов, экспертная экологическая комиссия и другие организации. Срок выполнения программы – с 1999 по 2015 г, ее общая стоимость – более 7,5 млрд руб (в ценах 1998 г). В различные периоды выполнения предусматриваются следующие основные источники финансирования программы, %: средства водопользователей – 46-69; бюджеты разных уровней – 14-22 (федеральный – 0-7; областной – 1,5-8,0; муниципальные образования – 3-10); водный налог – 9-17; экологические фонды – 2,0-4,5; областной фонд восстановления и охраны водных объектов – 10-12 (с 2000 г).

Из представленных выше данных следует, что основные затраты ЦКП «Обь» связаны с очисткой и утилизацией сточных вод (более 40%), с рациональным водопользованием (свыше 20%). Ведущий источник финансирования – средства водопользователей, составляющие, как правило, более половины всех сумм, предусмотренных программой. Общая величина последних достигает ~18 млн долл. США ежегодно. Столь существенными для региональной российской программы средствами невозможно рационально распорядиться без выявления наиболее эффективных мероприятий из числа предлагаемых к реализации. Так, продекларировано, что к первоочередным отнесены мероприятия, имеющие наибольшую социально-экологическую значимость, связанные с водопользованием, с водообеспечением населения, с наиболее выраженной экологической эффективностью. Однако общие рассуждения не были подкреплены использованием конкретных методик выявления наиболее эффективных мероприятий. Это привело к тому, что, как показал критериальный анализ, в ЦКП «Обь» соседствуют мероприятия, эффективность которых различается на 3-4 порядка, некоторые из них имеют нулевой экологический эффект.

Метод критериального анализа (ранжирования) заключается в количественной оценке экологических проблем и технологий природопользования, в основе которого лежит несколько фундаментальных понятий. Характер данной работы потребовал использования представлений о токсической экологической опасности (ТО), чистом токсикологическом эффекте \mathcal{E}_T , абсолютной токсикологической эффективности капи-

тальных вложений в средозащитные мероприятия ($\mathcal{E}_{\text{ТКВ}}$). Эти понятия выражаются безразмерными величинами, четко отделяют опасные в экологическом отношении объекты от безопасных, т.е. по существу критериальны. Для расчетов по методу критериального анализа необходимы лишь технологические данные (количество и концентрация загрязнителей до и после выполнения природоохранного мероприятия, их ПДК), а также экономические показатели (в рассматриваемом случае – капитальные вложения, необходимые для реализации мероприятия).

Расчеты токсической опасности источника загрязнения провели по доминантной формуле, которая применительно к водному бассейну может быть записана следующим образом:

$$TO_{\text{ж}} = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{C_i}{\text{ПДК}_{\text{ж},i}} - 1 \right) V \right], \quad (1)$$

где $TO_{\text{ж}}$ – токсическая экологическая опасность источника сброса в водный бассейн, учитывающая все загрязнители; C_i и ПДК_i – соответственно концентрация i -того компонента и его предельно допустимая концентрация в сбросе; V – объем сброса загрязнителей, единиц. Следует отметить, что для сбросных вод, плотность которых обычно близка к единице, взамен V можно использовать массу сбросов, единиц. Токсическая экологическая опасность конкретного i -того компонента рассчитывается по формуле (1), но без знака суммации. Значения $C_i/\text{ПДК}_i \leq 1$ в расчетах не учитывали, так как в этом случае благодаря достижению соотношения $C_i \leq \text{ПДК}_i$ вещество выбывает из числа загрязнителей окружающей среды.

Расчет чистого токсикологического эффекта мероприятий провели по формуле

$$\Delta TO = \mathcal{E}_T = TO_1 - TO_2, \quad (2)$$

где TO_1 – токсическая экологическая опасность сброса до очистки; TO_2 – то же после ее выполнения. В расчетах принято, что объемы сбросов до и после очистки одинаковы.

Абсолютная токсикологическая эффективность $\mathcal{E}_{\text{ТКВ}}$ капитальных вложений K в средозащитные мероприятия определена по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{ТКВ}} = \frac{\mathcal{E}_T}{K}, \text{ ед/руб} \quad (3)$$

Таким образом, $\mathcal{E}_{\text{ТКВ}}$ характеризуется величиной ликвидированной токсической опасности, приходящейся на единицу капитальных затрат, вложенных в отдельные природоохранные мероприятия или в их совокупность.

Анализ обоснованности включения мероприятий в ЦКП «Обь» выполнен применительно к их группе, входящей в 5-й, наиболее весомый по затратам, блок «Очистка и утилизация сточных вод» (см. табл. 1). В эту группу входят 34 мероприятия по промышленности и ЖКХ, предусматривающие сброс сточных вод в реку Пышма. Однако расчеты выполнены только для 18 из них, для которых имелись необходимые исходные данные (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что корреляция между объемами сточных вод и капитальными затратами на мероприятия отсутствует. В частности, по Березовскому руднику при объеме стоков шахтных вод 11,7 млн м³/г капитальные затраты на строительство очистных сооружений оцениваются в 15,4 млн руб, для очистных сооружений п. Порошино эти показатели составляют соответственно 1,342 млн м³/г и 60 млн руб. Некоррелируемость рассматриваемых параметров объясняется различиями в составе сточных вод, используемых технологий очистки, неточностями оценки капитальных затрат и т.д. Однако большая часть этих причин учитывается при использовании критериального анализа.

В табл. 3 представлены результаты расчетов токсической экологической опасности ТО_1 , входящей в природоохранные объекты, и их ранжирование по данному показателю. При этом были использованы ПДК 24-х веществ, попадание которых в реку В. Пышма контролируется. Значения этих ПДК в водоемах рыбохозяйственного назначения, г/м³: БПК_{полн} – 3, нефтепродукты – 0,05; взвешенные вещества – 20, сухой остаток – 1000, сульфаты – 100, хлориды – 300, фосфор общий – 0,2; азот аммонийный – 0,4; нитраты – 0,1; нитриты – 0,2; синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) – 0,5; Fe – 0,1; Cu – 0,001, Zn – 0,01; Ni – 0,1; As – 0,05; Cd – 0,005; Co – 0,005; Cr – 0,001; F – 0,75; Mg – 40, Mn – 0,01; Al – 0,04; фенолы – 0,001.

Из табл. 3 следует, что сточные воды по характеру загрязнений, создающих токсическую экологическую опасность, можно разделить на 2 группы. В первую входят производственные стоки Березовского рудника и предприятия «Уралэлектромедь», загрязненные практически только металлами. Вторую группу составляют хоз-

бытовые, коммунальные и промышленные стоки остальных предприятий, загрязненные прежде всего фосфором, азотом аммонийным, нитратами и нитритами.

Из 24 веществ, контролируемых при сбросе в водоемы, загрязнителями, дающими вклад более 1,0% от общей ТО сточных вод, оказалась только половина (12). Среди них выделяются азот аммонийный (7,94%), нитраты (20,78), нитриты (11,78), Mn (13,6), Cu (21,91). На долю данных пяти веществ приходится более 75% токсической экологической опасности всех стоков. При этом азот аммонийный, нитраты и нитриты вносят ТО практически во все объекты (табл 3).

Наибольшие $ТО_1$ имеют первые шесть отранжированных объектов табл. 3, на долю которых приходится более 90% общей токсической экологической опасности. Различия между значениями $ТО_1$ объектов весьма значительны, составляя более 42% для Северных очистных сооружений Екатеринбурга и 0,20% – для курорта «Курьи». Стоки завода строительных конструкций не содержат токсической экологической опасности, так как в них нет веществ с концентрациями, превышающими ПДК. Корреляция между рангами $ТО_1$ и объемами V сточных вод слабо выражена:

Ранг по $ТО_1$	1	2	3	4-5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17-18
Ранг по V	1	2	6	4-5	3	11	9	8	16	7	14	10	12	13	15	17-18

Включение в ЦКП «Обь» объектов мало сопоставимого масштаба, например уже упоминавшихся Северных очистных сооружений Екатеринбурга и очистных сооружений завода строительных конструкций г. Березовска, свидетельствует о том, что критерии отбора мероприятий в программу или отсутствовали, или носили весьма субъективный характер. Это же подтверждают результаты ранжирования по абсолютной токсикологической эффективности $Э_{ТКВ}$ капитальных вложений (табл. 4). Выявлено, что они изменяются от 934 Мегаединиц (Мед) на рубль для УМП ЖКХ г. В. Пышма до нуля по мероприятиям завода строительных конструкций г. Березовска (последние, вследствие их нулевой $ТО_1$, в табл. 3 и 4 не внесены). Средняя $Э_{ТКВ}$ природоохранных мероприятий определена расчетным методом. Она составила 10745:550,55 или 19,52 Мед/руб (здесь 10745 – общая $Э_T$ по данным табл. 4; 550,55 – общие капитальные затраты на мероприятия – табл. 2). $Э_{ТКВ}$ выше средней имеют только 9 отранжированных предложений. Их вклад в $Э_T$ всех мероприятий составляет свыше 40% при требуемых на их реализацию капитальных вложениях 4,11% от общих (табл. 4). Ограничившись только этими лучшими предложениями и суммой их

\mathcal{E}_T , токсикологическую эффективность капитальных вложений можно увеличить ~ в 10 раз в сравнении со средним \mathcal{E}_{TKB} , снизить капитальные затраты с 550,55 млн до 22,65 млн руб, т.е в 24,3 раза. Образующуюся экономию капитальных вложений следует использовать для реализации других, более эффективных предложений ЦКП «Обь».

Анализ данных показывает также разную величину \mathcal{E}_{TKB} природоохранных работ применительно к сточным водам примерно равного состава. Так, сточные воды станций очистки и доочистки хозяйственных стоков г. Березовска и Северных очистных сооружений Екатеринбурга (поз. 4, 5, 1 табл.3) сходны по характеру и концентрации загрязнений, однако \mathcal{E}_{TKB} для них существенно различаются (соответственно 19,2; 17,4 и 12,8 Мед/руб в табл. 3). Из этого следует, что запланированные капитальные затраты на Северные очистные сооружения завышены или базируются на недостаточно эффективных технологиях очистки сточных вод. Приняв \mathcal{E}_{TKB} на уровне среднего для станций очистки и доочистки сточных вод г. Березовска (18,8 Мед/руб), по соотношению $K=\mathcal{E}_T/\mathcal{E}_{TKB}$, следующему из формулы (3), можно оценить капитальные затраты для Северных очистных сооружений равными 233,33 млн руб, т.е. на 30% меньшими, чем запланировано.

Однако и в этом случае реконструкция Северных очистных сооружений Екатеринбурга с эколого-экономической точки зрения выглядит крайне сомнительной. Действительно, 9 наиболее эффективных мероприятий в сумме создают чистый токсикологический эффект в 4375 Мед и требуют для своей реализации 22,65 млн руб (табл. 4, ранги 1-9). Реконструкция Северных очистных сооружений обеспечивает \mathcal{E}_T , равный 4270 Мед (там же, ранг 13). Однако для его обеспечения требуется 333 млн руб, а с учетом корректировки капитальных вложений – 233 млн руб, т.е. в 10-15 раз больше.

Таким образом, представленные здесь и ранее выполненные автором расчеты [2] показывают, что критериальный анализ позволяет выявить наиболее эффективные природоохранные мероприятия как для воздушного, так и для водного бассейнов. Ниже приведены \mathcal{E}_{TKB} природоохранных мероприятий в этих средах при использовании ПДК одинаковой размерности (г/см³)

Среда	Э _{ТКВ} макс.	Э _{ТКВ} мин.	Э _{ТКВ} средн.
Водный бассейн	934	0,0	19,5
Воздушный бассейн	1400	0,75	29,8

Эти данные позволяют сделать предварительный вывод о том, что экологическая эффективность природоохранных мероприятий для водного и воздушного бассейнов является величинами одного порядка при средних значениях Э_{ТКВ} в несколько десятков единиц.

13.07.1999

Лотош Валерий Ефимович, докт. техн. наук, профессор

Литература

1. Лотош В.Е. Теоретические основы критериального ранжирования процессов природопользования // Экономика природопользования. – 1998. – №1. – с. 96-110
2. Лотош В.Е. Критериальный анализ эколого-экономической эффективности мероприятий по защите воздушного бассейна // Экономика природопользования. – 1998. – №6. – с.

Таблица 1

Основные блоки мероприятий ЦКП «Обь»

	Блок	Стоимость	
		общая, млн. руб	%
1.	Хозяйственно-питьевое водоснабжение	842,4	11,19
2.	Восстановление водных объектов	811,3	10,78
3.	Восстановление водосбора	623,7	8,28
4.	Рациональное водопользование	1710,7	22,72
5.	Очистка и утилизация сточных вод	3112,0	41,35
6.	Предупреждение чрезвычайных ситуаций на водных объектах	380,1	5,05
7.	Мониторинг водных объектов	15,4	0,20
8.	Развитие рыбного хозяйства	4,5	0,06
9.	Правовое и научно-техническое обеспечение	15,3	0,20
10.	Экологическое образование и воспитание населения	13,1	0,17
	Всего	7528,5	100

Характеристика объектов ранжирования

	Природоохранный объект, предприятие	Объем стоков, млн м ³ /г	Капзатраты, млн руб	Природоохранное меро- приятие
1.	Северные ОС г. Екатеринбурга	32,073	333,0	Реконструкция
2.	Березовский рудник	11,7	15,4	Строительство ОС шахтных вод
3.	УМП ЖКХ г. В. Пышма	7,727	0,5	Блок доочистки СВ
4-5.	ОС х/б стоков г. Березовска	6,79	26,0	Реконструкция, строи- тельство четвертой оче- реди
4-5.	Станция доочистки х/б стоков г. Бере- зовска	6,79	38,0	Строительство
6.	ОС х/бытовых стоков г. Камышлова	4,205	50,5	То же
7.	То же, г. Богданович	4,007	0,6	Реконструкция, строи- тельство станции доочи- стки
8.	Уральский завод химреактивов, г. В. Пышма	2,081	2,4	Очистка ливневых и до- очистка промстоков
9.	УМП ЖКХ п. Малышева	1,487	0,4	Реконструкция ОС х/б стоков
10.	Очистные сооружения п. Порошино	1,342	60,0	То же
11.	Комбинат «Уралэлектромедь» г. В. Пышма	0,829	13,0	Строительство ОС про- мливневых стоков
12.	Комбинат «Ураласбест»	0,82	0,68	Реконструкция ОС шахтных вод
13.	МП ЖКХ п. Белоярка	0,625	3,6	Реконструкция ОС с доочисткой по биогенам
14.	ОС х/б стоков п. Пышма	0,304	1,6	Строительство 2-й оче- реди
15.	Курорт «Курьи»	0,239	0,07	Строительство ОС х/б стоков
16.	ЗАО «Талицкое»	0,234	1,0	Реконструкция ОС
17- 18	З-д стройконструкций г. Березовский	0,047	3,0	Строительство ОС про- мливневых стоков
17- 18	То же	0,047	0,8	Реконструкция ОС промстоков
	Всего:	71,347	550,55	

Примечание: ОС – очистные сооружения, х/б – хозяйственные стоки

Таблица 3

Ранжирование объектов по степени токсической экологической опасности ТО₁

Ранг	Объект	ТО ₁ , Мед												Другие	ΣТО ₁			
		БПК	НП	ВВ	фенолы	Р	N	Н-ат	Н-ит	Mn	Fe	Cu	Zn		Cr	Мед	%	% нар
1.	Северные очистн. сооруж. Екатеринбурга	83	135		609	180	653	1408	1235	1636	61		545		32	6577	42,36	42,36
2.	Березовский рудник		8							474	499	2586	101		7	3675	23,67	66,03
3.	Х/б стоки г. Камышлова	15	10			36		307	7					669	2	1046	6,74	72,77
4.	Очистка СВ Березовска	28	12	12		50	143	355	214		3	61				878	5,65	78,42
5.	Доочистка СВ Березовска	28	12	12		50	143	355	214		3	61				878	5,65	84,07
6.	УМП ЖКХ г. В. Пышма	8	32			44	54	321	48		15	317		23		862	5,55	89,62
7.	Уралэлектромедь-В. Пышма											300	1		7	308	1,98	91,60
8.	УМП ЖКХ п. Малышево	2	1			34	1	259	7							304	1,96	93,56
9.	Уральск. завод химреактивов	7	18			18	32	74	14		4	77	3		13	260	1,67	95,23
10.	ЗАО «Галицкое»	135		44			47	3								229	1,47	96,70
11.	Х/б стоки г. Богданович	11	15			11	76	37	10		12					172	1,11	97,81
12.	Х/б стоки п. Пышма	2	3	1		36	34	32	21							129	0,83	98,64
13.	Х/б стоки п. Порошино	3					25	22	22							72	0,46	99,10
14.	Ураласбест	1				3	7	35	14		1					61	0,40	99,50
15.	п. Белоярка	2				7	8	19	9							45	0,30	99,80
16.	Курорт «Курьи»	5				3	10		13							31	0,20	100,0
	Всего, Мед	330	246	69	609	472	1233	3227	1828	2110	598	3402	650	692	61	15527	100	
	Всего, %	2,12	1,58	0,44	3,92	3,04	7,94	20,78	11,77	13,60	3,85	21,91	4,20	4,46	0,49	100		

Примечание. БПК – БПК_{полн}, НП – нефтепродукты, ВВ – взвешенные вещества, Р – фосфор общий, N – азот аммонийный, Н-ат – нитраты, Н-ит – нитриты, др – другие; %_{нар} – нарастающий итог.

Таблица 4

Ранжирование природоохранных мероприятий по абсолютной токсикологической эффективности $\mathcal{E}_{\text{ТКВ}}$
капитальных вложений, Мед/руб

Ранг	$\mathcal{E}_{\text{ТКВ}}$, Мед/руб	Мероприятие	ТО ₂ , Мед									\mathcal{E}_{T}		\mathcal{E}_{T} нараст		К, млн руб	К _{нараст}	
			фе- нолы	N	H-ат	H-ит	Mn	Cu	Cr	др	Σ	Мед	%	Мед	%		млн руб	%
1.	934	ЖКХ В. Пышмы			310	13		46	15	11	395	467	4,35	467	4,35	0,5	0,5	0,09
2.	357	Курорт «Курьи»		5						1	6	25	0,24	492	4,58	0,07	0,57	0,10
3.	248	п. Малышево			194	4				6	204	100	0,93	592	5,51	0,4	0,97	0,18
4.	231	г. Богданович		3	33	1				1	38	134	1,25	726	6,76	0,6	1,57	0,28
5.	208	Березовский рудник					214	234		30	478	3197	29,75	3923	36,51	15,4	16,97	3,08
6.	196	ЗАО «Галицкое»		23						10	33	196	1,82	4119	38,33	1,0	17,97	3,26
7.	67,0	Ур. з-д химреактивов		10	53	2		17		17	99	161	1,50	4280	39,83	2,4	20,37	3,70
8.	48,6	Ураласбест			28						28	33	0,31	4313	40,14	0,68	21,05	3,82
9.	39,2	Х/б стоки п. Пышма		17	28	4				18	67	62	0,58	4375	40,72	1,6	22,65	4,11
10.	19,4	Уралэлектромедь					56			2	58	250	1,32	4625	43,04	13,0	35,65	6,48
11.	19,2	Очистка СВ Березовска		23	302	36		7		6	374	504	4,69	5129	47,73	26,0	61,65	11,20
12.	17,4	То же, доочистка		6	209					2	217	661	6,15	5790	53,88	38,0	99,65	18,10
13.	12,8	Сев. очистн. соор. Екатер.	257	105	1190		481			274	2307	4270	39,74	10060	93,62	333,0	432,65	78,58
14.	12,2	г. Камышлов			282	2			130	16	430	616	5,74	10676	99,36	50,5	483,15	87,76
15.	6,7	п. Белоярка			18	3					21	24	0,22	10700	99,58	3,6	486,75	88,41
16.	0,75	п. Порошино		4	14	9					27	45	0,42	10745	100,0	60,0	546,75	99,31
Всего, Мед			257	196	2661	74	695	360	145	394	4782	10745	100,0					
Всего, %			5,37	4,1	55,64	1,55	14,53	7,53	3,03	8,24	100							

Примечание. Общая сумма капвложений с учетом мероприятий № 17-18 табл 2 равна 550,58 руб.