

ОЦЕНКА И СОЗДАНИЕ ПРОГНОЗНОЙ ФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ БАССЕЙНА ОБИ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА

В настоящее время оценка и прогнозирование того или иного природного объекта с позиции экологии не носит системного характера. Данные, поступающие о загрязнениях, являются констатирующими и редко подвергаются экономическому и эколого-статистическому анализу. В предлагаемой статье используется факторный и корреляционный анализ для построения прогнозной модели уровня загрязнения Оби в пределах Новосибирска и выявления статистически значимых факторов, данные о которых взяты из официальной отчетности. Проведен численный эксперимент по упреждающему прогнозированию объема загрязнения поверхностного водного объекта в зависимости от факторов.

Ключевые слова: экологические проблемы, факторный и корреляционный анализ, поверхностный водный объект.

По данным Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области, совокупные ресурсы поверхностных вод в Новосибирской области в среднем составляют 64,7 км³ в год. Поверхностные водные объекты (ПВО) государственного водного фонда Новосибирской области (НСО) представлены водотоками (реки, ручьи и осушительные каналы в количестве более 7 тысяч) и водоемами (водохранилище, озера, пруды, болота в количестве свыше 6 тысяч). Малые водотоки длиной менее 10 км составляют более 90 % от общего количества водотоков области.

Экологические проблемы Новосибирска являются отражением экологической ситуации в целом по России и во многом сопряжены именно с эффективностью и экологичностью использования водных ресурсов, прежде всего поверхностных. Сильное загрязнение источников пресной воды (большинство ПВО НСО относится к 3–4 классу опасности) значительно снижает интегральные характеристики состояния здоровья населения. Многолетние наблюдения за качеством ПВО, проводимые Западно-Сибирским центром мониторинга и загрязнения окружающей среды, показывают, что все водные объекты Новосибирска загрязнены выше допустимых нормативов (малые реки города в большей степени, чем река Обь), и отсутствует тенденция к улучшению сложившейся ситуации. Основные загрязняющие вещества ПВО Новосибирска, выявленные в процессе мониторинга, – это нефтепродукты, фенолы, соединения азота, меди.

В табл. 1 приведены данные водопотребления и водоотведения по НСО за 2005–2012 гг., предоставленные Новосибирским ЦГМС-РСМЦ, исходя из отчетов предприятий по форме 2-ТП (водхоз) [1. С. 37–40].

Основными показателями водопотребления являются водозабор, загрязненные воды, нормативно-чистые (без отчистки) воды и мощность очистных сооружений. ГОСТ 27065-86 «Качество вод. Термины и определения» дает следующие определения.

Водозабор – это забор воды из водоема для ее последующего использования, измеряется в миллионах кубических метров в год, тысячах кубических метров в год и в кубических метрах в сутки.

Таблица 1

Водопотребление и водоотведение по Новосибирской области
за 2005–2012 гг., млн м³

Показатель	Год							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Забор из водных объектов, всего	836,0	808,0	768,0	835,6	755,2	763,62	675,99	703,93
В том числе								
поверхностных	734	711	673,4	738,7	659,5	696,51	613,38	642,83
подземных	102	97	94,6	97	95,7	67,11	62,61	61,1
Использовано воды, всего	764	747	719,3	777,3	702,9	675,8	599,36	622,06
Расходы в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения	922,0	937,0	885,0	947	883,8	978,3	893,52	1016,09
Потери при транспортировке	51,0	51,0	38,4	46,8	37,8	–	65,67	67,19
Сброс сточных, транзитных, шахтно-рудничных и др. вод в ПВО	616,0	608,0	568,7	624,6	588,2	604,17	610,1	620,7
В том числе загрязненные, всего	72,0	73,0	101,5	104,6	98,4	106,79	94,13	112,53
Из них								
без очистки	40,0	41,0	47,7	47,3	43,8	58,48	59,31	72,48
недостаточно очищенные	32,0	32,0	53,8	57,3	54,6	48,31	34,82	40,05
Нормативно-чистые (без очистки)	272,0	263,0	216,8	273	254,1	280,18	230	245,1
Нормативно-очищенные	271,0	272,0	250,5	247,0	235,7	217,19	201,22	183,47
Мощность очистных сооружений, всего	403	403	403	403	406,4	408,22	405,93	405,16
В том числе со сбросом в ПВО	401	401	401	401	404,2	408,22	405,93	405,16

Нормативно-чистыми (без отчистки) называются воды, сброс которых не приводит к нарушениям норм качества воды в водоеме. Содержание загрязняющих веществ в них соответствует предельно допустимым концентрациям.

Загрязненные воды – это воды, сброшенные без очистки или недостаточно очищенными, содержащими загрязняющие вещества выше предельно допустимых норм [2. С. 15].

Исходя из расчета динамики данных мониторинга по поверхностным водным объектам Новосибирска прослеживаются следующие негативные тенденции (табл. 2): при росте сброса в ПВО и загрязненных вод в общем объеме сброса, снижается объем нормативно-очищенных вод, а следовательно, в целом ухудшается качество воды. Эти тенденции более наглядно прослеживаются на следующем графике (рис. 1), отражающем сравнительную динамику на рассматриваемом горизонте наблюдения (2005–2012 гг.) основных параметров водопотребления НСО. Следует отметить, что уровни забора из ПВО отличаются существенными вариациями по годам при общей тенденции снижения.

Для экономико-математического моделирования процессов водопотребления и водоотведения в поверхностные водные объекты Новосибирской области введем еще один фактор, который, в отличие от рассмотренных выше имеет безразмерный характер – доля загрязнен-

Таблица 2

Динамика сбросов в ПВО Новосибирской области
за 2005–2012 гг., %

Показатель	Год						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Забор из водных объектов,	96,7	95,0	108,8	90,4	101,1	88,5	104,1
в том числе поверхностных	96,9	94,7	109,7	89,3	105,6	88,1	104,8
Мощность очистных сооружений,	100,0	100,0	100,0	100,8	100,4	99,4	99,8
в том числе со сбросом в ПВО	100,0	100,0	100,0	100,8	101,0	99,4	99,8
Сброс сточных, транзитных, шахтно-рудничных и др. вод в ПВО	98,7	93,5	109,8	94,2	102,7	101,0	101,7
Нормативно-очищенные воды	100,4	92,1	98,6	95,4	92,1	92,6	91,2
Загрязненные воды, всего	101,4	139,0	103,1	94,1	108,5	88,1	119,5

ных вод в общих сбросах в ПВО (находится как отношение загрязненных сброшенных в ПВО вод к общему объему сброса). Будем рассматривать его как результирующий фактор, моделирование которого позволит предсказать общий уровень загрязненности водных объектов Новосибирской области. Действительно, данное отношение можно трактовать как обобщенную концентрацию загрязнения всех сбросов сточных, транзитных, шахтно-рудных и других вод в ПВО НСО.

Проведем компьютерный эксперимент для выявления значимого влияния выбранных факторов на результирующую переменную, определяющую обобщенный уровень качества поверхностных вод Новосибирской области.

В результате проведенного компьютерного статистического эксперимента в статистических пакетах Statistica, Matrix и ТП MS Excel среди всех рассмотренных выше факторов были отобраны в качестве модельных независимых переменных следующие:

- «загрязненные в сбросах, всего», обозначение в компьютерной модели – **ЗГРЗ_05_12**, в математической модели линейной регрессии – x_1 ;
- «забор из поверхностных водных объектов», обозначение в компьютерной модели – **ЗАБОР_05_12**, в математической модели линейной регрессии – x_2 ;
- «нормативно-очищенные в сбросах», обозначение в компьютерной модели – **НОРМ_ОЧИЩ**, в математической модели линейной регрессии – x_3 .

Примем в нашем исследовании допустимый уровень значимости 5 % (0,05).

Следует заметить, что при проверке правильности спецификации в рассматриваемых программных пакетах нулевая гипотеза состоит всегда в том, что модель специфицирована корректно, а альтернативная гипотеза – в том, что имеется ошибка спецификации. Если статистика незначима (например, уровень значимости больше 5 %), то следует принять гипотезу о правильности спецификации. При проверке значимости оценок коэффициентов модели нулевая гипотеза состоит всегда в том, что коэффициенты модели равны 0, следовательно, если статистика незначима, то нужно принять гипотезу об отличии коэффициентов от нуля.

В результате пошаговой регрессии с добавлением и исключением переменных было получено следующее уравнение линейной регрессии:

$$Y^* = 0,00198196X_1 - 1,55619 \cdot 10^{-4} X_2 + 3,203663 \cdot 10^{-4} X_3. \quad (1)$$

Полученное модельное уравнение не содержит константы. Основные параметры и спецификации данной модели приведены в табл. 3.

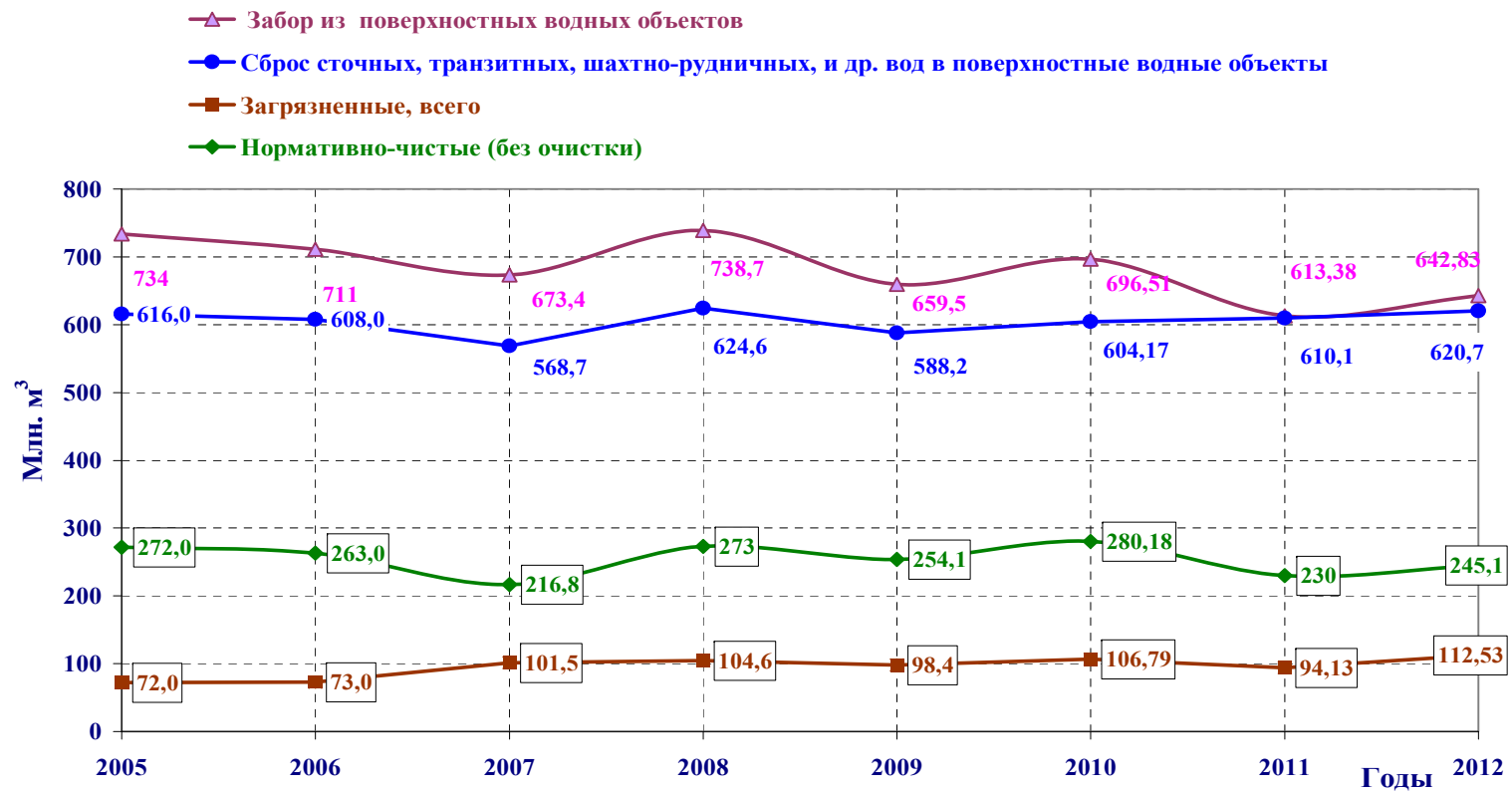


Рис. 1. Динамика водопотребления и водоотведения в ПВО НСО за 2005–2012 гг.

Таблица 3

Параметры и спецификации регрессионной модели
(малая выборка)

Зависимая переменная: ДОЛЯ_3_8

Количество наблюдений: 8

(Регрессия без константы!)

Переменная	Коэффициент	Станд. ошибка	t-статистика	Знач.
1 ЗГРЯЗ_05_12	0.0019819604	9.132115E-05	21.703190659	[0.0000]
2 ЗАБОР_05_12	-1.556189E-04	3.63055E-05	-4.2863723431	[0.0078]
3 НОРМ_ОЧИЩ	3.203663E-04	7.453481E-05	4.2982099306	[0.0077]
R ² adj. = 98.760804249% DW = 2.6943				
R ² = 99.114860178% + S.E. = 0.0028636824				
Сумма квадратов остатков: 4.1003383099E-05				
Максимум логарифмической функции правдоподобия: 37.373681821286				
AIC = -8.3434204553 BIC = -8.3036996845				
F(2,5) = 279.9413 [0.0000]				
Нормальность: Chi ² (2) = 0.094902 [0.9537]				
Гетероскедастичность: Chi ² (1) = 0.640648 [0.4235]				
Функциональная форма: Chi ² (1) = 0.043318 [0.8351]				
AR(1) в ошибке: Chi ² (1) = 1.359867 [0.2436]+				
ARCH(1) в ошибке: Chi ² (1) = 0.98404 [0.3212]				

Как следует из верхних строк табл. 3, уровень значимости оценок коэффициентов очень высокий. С реально достигнутым уровнем значимости, не превышающим 1 % ошибки, нулевая гипотеза о равенстве коэффициентов модели может быть отвергнута. Таким образом, с вероятностью 99 % коэффициенты модели отличны от нуля, что выше принятого нами 5 % уровня значимости.

Остальные спецификации табл. 3 подтверждают адекватность и качество модели: значимо высокий коэффициент детерминации, нормальность распределения, отсутствие гетероскедастичности, автокорреляции, мультиколлинеарности, адекватность аналитического выражения функциональной формы регрессии.

Хотя все параметры качества полученной модели свидетельствуют о ее адекватности и пригодности для дальнейшего прогнозирования, нами была предпринята попытка увеличения объема выборки и подтверждения значимости отобранных регрессоров на расширенной выборке. Однако в условиях российских реалий данная задача не относится к разряду тривиальных и стандартных в силу следующих обстоятельств.

1. Практически отсутствует система публичной отчетности как предприятий, так и организаций, ведущих различные виды мониторинга и наблюдений. Исключение составляют отчеты Росстата, но круг охватываемых ими статистических данных достаточно узок и не содержит интересующих нас показателей.

2. Отсутствуют централизованные базы и банки данных практически по всем отраслям знаний, кроме ИПС типа «Гарант» или «КонсультантПлюс», содержащих текстовые документы – статьи, книги, нормативно-правовые акты достаточно узкого круга предметных областей.

3. В сфере экологического аудита, экологической экспертизы, экологического мониторинга, которые в целом являются сравнительно новыми для России областями деятельности, попытка на федеральном уровне как-то систематизировать информацию и данные выражается в издании ежегодных отчетов и государственных докладов с 1992 г. Причем качество оформления до 2004 г было очень низким, состав данных весьма ограниченным, а информация скудной. Электронный доступ к этим ресурсам (не полным) можно получить с одного-двух порталов, как правило, после регистрации.

4. Что касается региональных данных в области экологии, в частности по Новосибирской области, то ежегодные отчеты Департамента природы стали публиковаться с 2005 г., следовательно, интересующих нас данных по поверхностным водным объектам с 1992 по 2004 г. получить из местных источников невозможно в силу их физического отсутствия.

5. Принимая во внимание вышеизложенное, мы организовали широкомасштабный поиск в Интернете данных по описанным выше факторам в интервале с 1992 по 2004 г. Некоторые интересующие нас данные содержались в федеральных государственных докладах об охране окружающей среды в разделах «Субъекты федераций» (более ранних версий госдокладов обнаружить не удалось, по данным официальных источников, их не существует в свободном доступе). Некоторая информация в диапазоне 1998–2000 гг. была найдена на национальном портале «Природа НИА», правда, в плохом качестве и только по факторам «Сброс» и «Загрязненные». В данных федеральных отчетов о состоянии окружающей среды по каждому субъекту федерации на каждый вид среды (воздух, вода, земля) было отведено 2–3 строки, т. е. в сумме не более 10 строк. Вероятность найти более ранние данные хотя бы по отдельным показателям практически равна нулю.

Таким образом, реально удалось сформировать выборку из 15 наблюдений по трем факторам «Загрязненные, всего», «Забор из поверхностных водных объектов», «Сброс сточных, транзитных, шахтно-рудничных и др. вод в поверхностные водные объекты», две первые из которых присутствуют в малой выборке, рассмотренной выше. Сравнительная динамика этих показателей водопотребления приведена на рис. 2.

Добавление выборочных наблюдений за 7 лет изменило характер динамики фактора «Сбросы». Так, из рис. 2 видно, что в 20005 г. произошла смена тенденции: если с начала интервала до 2005 г. прослеживается значительное (однако неравномерное) снижение сбросов, то после 2005 г. наблюдается неравномерный рост показателя, но с меньшими градиентами изменения, чем в предыдущем интервале. Однако в уже построенной модели этот фактор не значим, и не включен в нее.

Наблюдаются изменения в тенденциях фактора «Забор». Так, с начала периода наблюдений до 2003 г. он был практически стационарным, почти не отклоняясь от средней за этот интервал. После 2003 г. происходит довольно резкое снижение водозабора. Это значит, что в разрабатываемой модели коэффициент при данном регрессоре может сменить знак на противоположный и будет добавлен его нелинейный эффект.

Фактор «Загрязнение» сохранил тенденцию почти равномерного роста.

Следует подчеркнуть, что увеличить размер выборки, даже при гипотетическом допущении наличия этих данных, расширяя ее горизонт влево, будет некорректным, так как до 1991 г. была, по сути, другая страна, другая экономика, другие формы хозяйствования.

В итоге пошаговой регрессии построена модель, основные оценки и спецификации которой приведены в табл. 4. Результаты подтверждают значимость оценок всех коэффициентов модели с достигнутым уровнем вероятности, превышающим 95 %, а также качество и достоверность построенного уравнения регрессии по всем основным спецификациям.

Коэффициент детерминации $R^2 = 98,25\%$ показывает, что вариация моделируемой доли загрязнения в сбросах под действием всех отобранных в модели признаков изменяется практически по функциональной зависимости, определяемой формулой, которая содержит эффект 2-го порядка по фактору «Забор»:

$$Y_1^* = -0.35634 + 0,0015499X_1 + 0,001099X_2 - 8,1904 \cdot 10^{-7} X_2^2. \quad (2)$$

F -статистика имеет высокий уровень значимости коэффициента детерминации полученной статистической модели загрязнения ПВО Новосибирской области, подтверждая ее общее качество. Модель пригодна для прогнозирования и принятия решений заинтересованными лицами к осуществлению прогнозов, высокий уровень точности приближения подтверждает график на рис. 3.

В силу отсутствия данных для расширенной выборки по фактору «Нормативно-очищенные в сбросах», данный регрессор не был включен в модель, что, как видим, не вызвало какого-либо ухудшения качества модели. В случае появления возможности получить недостающие наблюдения по данному фактору, его можно будет включить в модель без потери ее качества для прогнозирования. Возможность включения проверена на динамическом ряде, недостающие значения которого получены экстраполированием назад на 7 точек имеющегося ряда динамики «Нормативно-очищенные в сбросах».

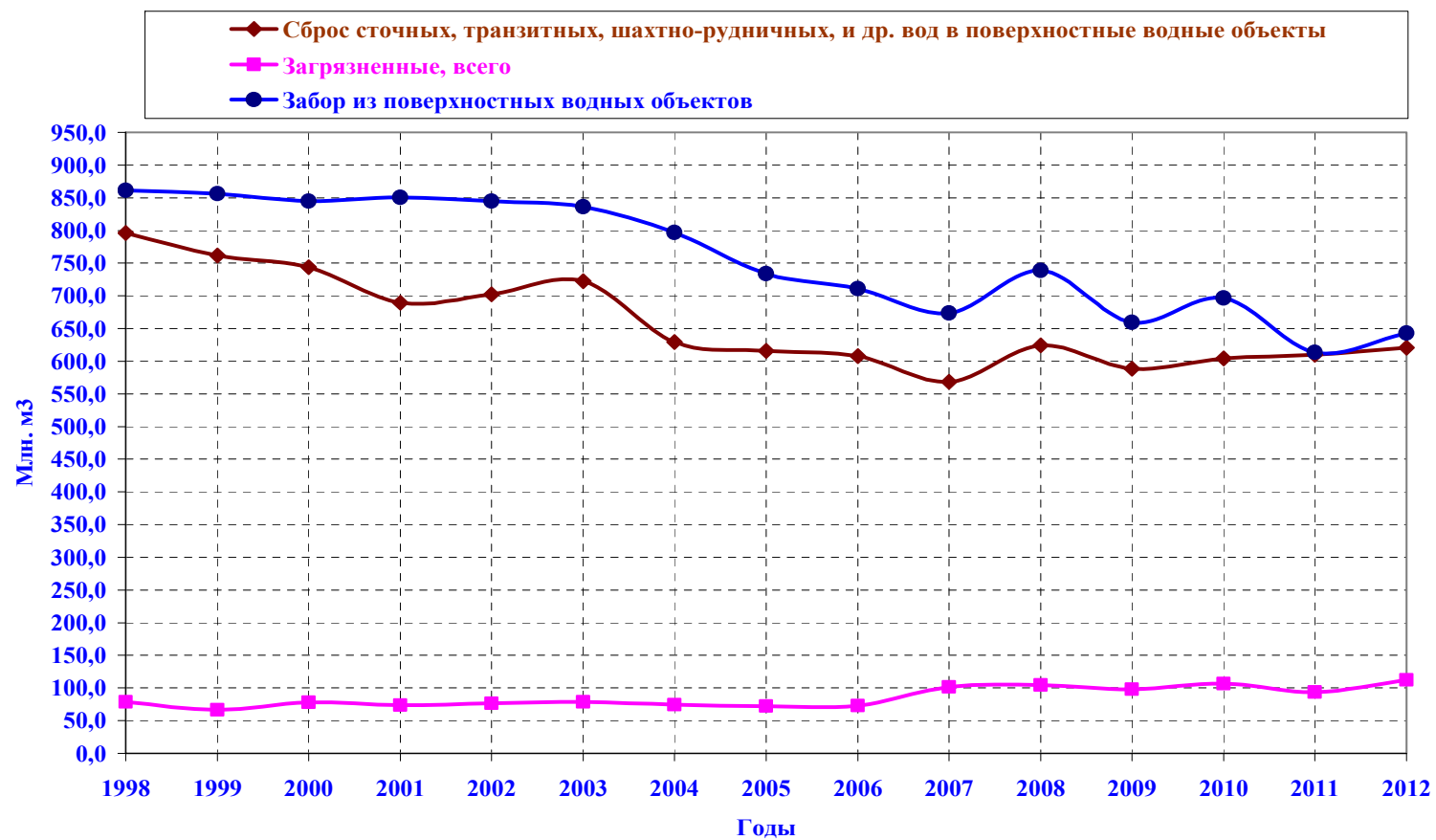


Рис. 2. Динамика водопотребления и водоотведения в ПВО НСО за 2005–2012 гг.

Таблица 4

Параметры и спецификации регрессионной модели (2)

Зависимая переменная: ДОЛЯ_З

Количество наблюдений: 15

Переменная	Коэффициент	Станд. ошибка	t-статистика	Знач.
1 Константа	-0.3563395298	0.1445404672	-2.4653270936	[0.0314]
2 ЗАГРЯЗ1	0.0015498771	1.287082E-04	12.041789838	[0.0000]
3 ЗАБОР_ПВО	0.0010985133	3.831235E-04	2.8672563703	[0.0153]
4 ЗАБОР_ПВО^2	-8.19048E-07	2.545702E-07	-3.2173754594	[0.0082]

R²adj. = 97.773756635% DW = 2.4618R² = 98.250808784% S.E. = 0.0049848844

Сумма квадратов остатков: 2.7333979906E-04

Максимум логарифмической функции правдоподобия: 60.5622598968801

AIC = -7.4083013196 BIC = -7.1722845859

F(3,11) = 205.954 [0.0000]

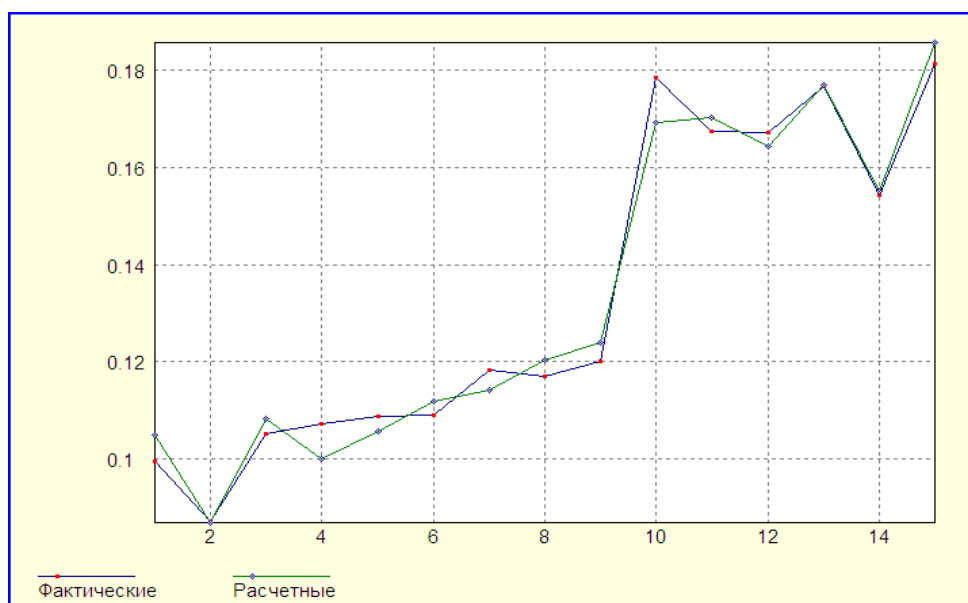
Нормальность: Chi²(2) = 1.507259 [0.4707]Гетероскедастичность: Chi²(1) = 0.082002 [0.7746]Функциональная форма: Chi²(1) = 0.041119 [0.8393]AR(1) в ошибке: Chi²(1) = 2.270107 [0.1319]ARCH(1) в ошибке: Chi²(1) = 0.161198 [0.6881]

Рис. 3. График фактических и расчетных значений модели доли загрязнения

$$Y_1^* = -0.35634 + 0.0015499X_1 + 0.001099X_2 - 8.1904 \cdot 10^{-7} X_2^2$$

Для использования полученной модели (2) в прогнозировании уровня загрязнения ПВО проведено моделирование переменных регрессоров, данные которых представляют ряды динамики, стандартными методами аналитического выравнивания. При построении моделей регрессоров использовались их наблюдаемые выборочные значения за 1998–2012 гг. Для фактора «Загрязненные» методом аналитического выравнивания построены две модели – линейная и квадратичная, обе адекватные и с хорошим качеством уравнений регрессий. Сведения об оценках коэффициентов квадратичной модели и ее основных спецификаций приведены в табл. 5.

Таблица 5

Квадратичное выравнивание фактора «Загрязненные»

Зависимая переменная: ЗАГРЯЗ1				
Количество наблюдений: 15				
Переменная	Коэффициент	Станд. ошибка	t-статистика	Знач.
1 Константа	81.636316742	3.3316470236	24.503291064	[0.0000]
2 T _i	2.7525	0.5121567147	5.3743315691	[0.0002]
3 T _i ²	0.2337330317	0.1334296552	1.7517322621	[0.1053]
R ² adj. = 68.147073685% DW = 1.8392				
R ² = 72.69749173% S.E. = 8.5700210099				
Сумма квадратов остатков: 881.343121312231				
Максимум логарифмической функции правдоподобия: -51.8345541256886				
AIC = 7.4446072168 BIC = 7.6334206037				
F(2,12) = 15.976 [0.0004]				
Нормальность: Chi ² (2) = 0.404403 [0.8169]				
Гетероскедастичность: Chi ² (1) = 0.871172 [0.3506]				
Функциональная форма: Chi ² (1) = 1.625145 [0.2024]				

Таблица 6

Упреждающий прогноз «Загрязненные» и «Забор» на три года
(2013–2015)

Горизонт прогноза	Год		
	2013	2014	2015
Линейное аналитическое выравнивание ЗАГРЯЗ ₁ = 2,7526t + 85,999 (3) [0.0002] [0.0000] * (R ² = 65,72 %, F(1,13) = 24,9184 [0,0002])	108,0	110,8	113,5
Квадратичное аналитическое выравнивание ЗАГРЯЗ ₂ = 0,234t ² + 2,753t + 81,636 (4) [0.0403] [0.0002] [0.0000] (R ² = 72,70 %)	118,6	125,3	132,5
ЗАБОР_ПВО = -18,639t + 757,315 (5) [0.0000] [0.0000] (R ² = 88,87 %, F(1,13) = 103,7773 [0,0000])	608,2	589,6	570,9

* Под коэффициентами модели указан уровень значимости их оценок.

Для регрессора «Забор» построена линейная модель, также достоверная и адекватная по всем оценкам и спецификациям.

Результаты прогнозирования регрессоров «Загрязненные» по обеим моделям и «Забор» по линейной модели в интересующем нас горизонте отражены в табл. 6.

Как следует из табл. 5, линейное выравнивание ряда «Загрязненные» дает более оптимистичный прогноз роста доли загрязненных вод в сбросах в ПВО в силу более быстрого в нашем случае возрастания квадратичной функции по сравнению с линейной зависимостью. Однако, учитывая, что коэффициент детерминации последней ниже, чем в квадратичном выравнивании, можно предположить, что реализация линейного выравнивания несколько менее вероятна, чем квадратичного.

Коэффициенты при t в моделях регрессора «Загрязненные» имеют положительный знак, что адекватно отражает выявленную тенденцию роста в соответствующем динамическом ряду. Аналогично отрицательный коэффициент при t в модели регрессора «Забор» адекватно отражает выявленную тенденцию убывания, хоть и сильно неравномерного данного динамического ряда.

Разработанные регрессионные модели (2–5) позволили выполнить сценарный прогноз по оптимистичному и пессимистичному вариантам с доверительными интервалами прогнозных значений. Результаты упреждающего прогнозирования со значениями верхней и нижней границ 95 % доверительных интервалов прогнозных значений представлены в табл. 7.

Как следует из данных табл. 7, сценарий 2 привносит более негативное развитие ситуации с уровнем загрязнения ПВО Новосибирской области, так как соответствующий прогноз регрессора «Загрязненные» дает более высокие объемы загрязненных вод в сбросах в ПВО.

Данные прогнозы призваны помочь лицам, принимающим решения, предусмотреть возможные варианты развития ситуации с уровнем загрязнения поверхностных водных объектов Новосибирской области и принять адекватные меры по устранению выявленных негативных тенденций.

Например, в случае сохранения выявленных тенденций и реализации сценария 2 доля загрязненных вод в общем сбросе может достичь 20,93 %, а в случае приближения к верхней границе доверительного интервала – и 21,19 %. Это значение превышает наблюдаемый в 2012 г. уровень более чем на 3 %. За этими обобщенными процентами скрываются повышение ПДК загрязняющих веществ по различным реальным поверхностным объектам и, как следствие, рост загрязненности воды и снижение ее качества, вызывающее серьезные проблемы, связанные со здоровьем населения.

К достоинствам данной модели можно отнести и возможность прогнозирования по рассчитанным модельным значениям объема сбросов как частного:

$$\text{Сбросы} = \text{Загрязненные} / \text{Доля загрязненных в сбросах.}$$

Например, в условиях сохранения тенденций модели получим следующий прогноз объема сбросов (табл. 8).

Таблица 7

Упреждающий прогноз результирующей переменной «Доля загрязненных»
на 2013–2015 гг., млн м³

Показатель	Год		
	2013	2014	2015
Сценарий 1, оптимистичный			
Регрессор «Забор из ПВО»	608,2	589,6	570,9
Регрессор «Загрязненные»	108,0	110,8	113,5
Результирующий фактор «Доля загрязненных»	0,1762	0,1783	0,1798
95 % доверительные интервалы			
нижняя граница	0,1723	0,1750	0,1769
верхняя граница	0,1801	0,1816	0,1827
Сценарий 2, пессимистичный			
Регрессор «Забор из ПВО»	608,2	589,6	570,9
Регрессор «Загрязненные»	118,6	125,3	132,5
Результирующий фактор «Доля загрязненных»	0,1926	0,2009	0,2093
95 % доверительные интервалы			
нижняя граница	0,1894	0,1980	0,2067
верхняя граница	0,1958	0,2038	0,2119

Таблица 8

Упреждающий прогноз «Сбросы в ПВО»
на 2013–2015 гг., млн м³

Сценарий	Год		
	2013	2014	2015
Сценарий 1, оптимистичный	612,98	621,28	631,38
Сценарий 2, пессимистичный	615,72	623,97	633,32

Остановимся на краткой характеристике еще одной экономико-статистической модели рассматриваемого в данной работе результативного признака «Доля загрязненных в сбросе», полученной в ходе пошаговой регрессии и компьютерных экспериментов. В этой модели два регрессора – «Загрязнение» и «Сброс», но она также учитывает нелинейные влияния, отмеченные выше, и включает совместное действие этих факторов в виде их произведения и второй степени фактора «Сброс» в соответствии с формулой

$$Y_3^* = 0,113586 + 0,003125X_1 - 2,435156 \cdot 10^{-6} X_1 X_2 - 3,511127 \cdot 10^{-4} X_2 + 2,70685 \cdot 10^{-7} X_2^2. \quad (6)$$

Прогнозы, полученные с помощью этой модели, потребовали выполнения аналитического линейного выравнивания регрессора «Сброс», линейная модель получена в хорошем качестве, ее характеристики представлены в табл. 9. Модель (6) дает почти полное совпадение фактических и расчетных значений (рис. 4).

Может показаться, что значение результирующего фактора следует искать простым отношением в соответствие с определением после аналитического выравнивания динамических, задающих компоненты рядов без исследований и компьютерного моделирования. Однако это иллюзорная возможность, которая не отражает реальное состояние проблемы по следующим важным доводам.

1. Нет доверительных интервалов для прогнозных значений, полученных простым арифметическим действием – отношением факторов «Загрязнение» и «Забор» в соответствии с определением результирующего признака «Доля загрязнения», которое было введено выше.

2. Простое отношение не учитывает тех дополнительных эффектов влияния регрессоров – как по отдельности, попарно, так и в комплексе, которые отражают тенденции рядов динамики, задающих регрессоры, которые были обнаружены при увеличении размера выборки.

3. Помимо этого, значения, полученные при прогнозировании по модели (6), мало отличаются от значений в модели (2) (0,0011–0,0014), что является существенным подтверждением качества проведенного исследования.

Заметим в заключение, что регрессионная модель (1), полученная в данной работе на малой выборке, на наш взгляд, более актуальна, чем полученные на расширенной выборке, так как экономические реалии до 2000 г. значительно отличаются от реалий последующего

Таблица 9

Параметры и спецификации регрессионной модели (6)

Зависимая переменная: ДОЛЯ_3

Количество наблюдений: 15

Переменная	Коэффициент	Станд. ошибка	t-статистика	Знач.
1 Константа	0.1135864705	0.0134990952	8.414376567	[0.0000]
2 ЗАГРЯЗ1	0.0031247887	8.686399E-05	35.973350602	[0.0000]
3 ЗАГРЯЗ1*СБРОС	-2.435156E-06	1.384508E-07	-17.588592882	[0.0000]
4 СБРОС	-3.511127E-04	3.269202E-05	-10.740012488	[0.0000]
5 СБРОС^2	2.70685E-07	1.952672E-08	13.862285768	[0.0000]
R^2adj. = 99.994413468% DW = 2.0281				
R^2 = 99.99600962% S.E. = 2.497123E-04				
Сумма квадратов остатков: 6.2356233497E-07				
Максимум логарифмической функции правдоподобия: 106.184926767167				
AIC = -13.357990236 BIC = -13.074770155				
F(4,10) = 62648.17 [0.0000]				
Нормальность: Chi^2(2) = 0.848357 [0.6543]				
Гетероскедастичность: Chi^2(1) = 0.001453 [0.9696]				
Функциональная форма: Chi^2(1) = 1.616119 [0.2036]				
AR(1) в ошибке: Chi^2(1) = 0.0469 [0.8285]				
ARCH(1) в ошибке: Chi^2(1) = 0.10396 [0.7471]				

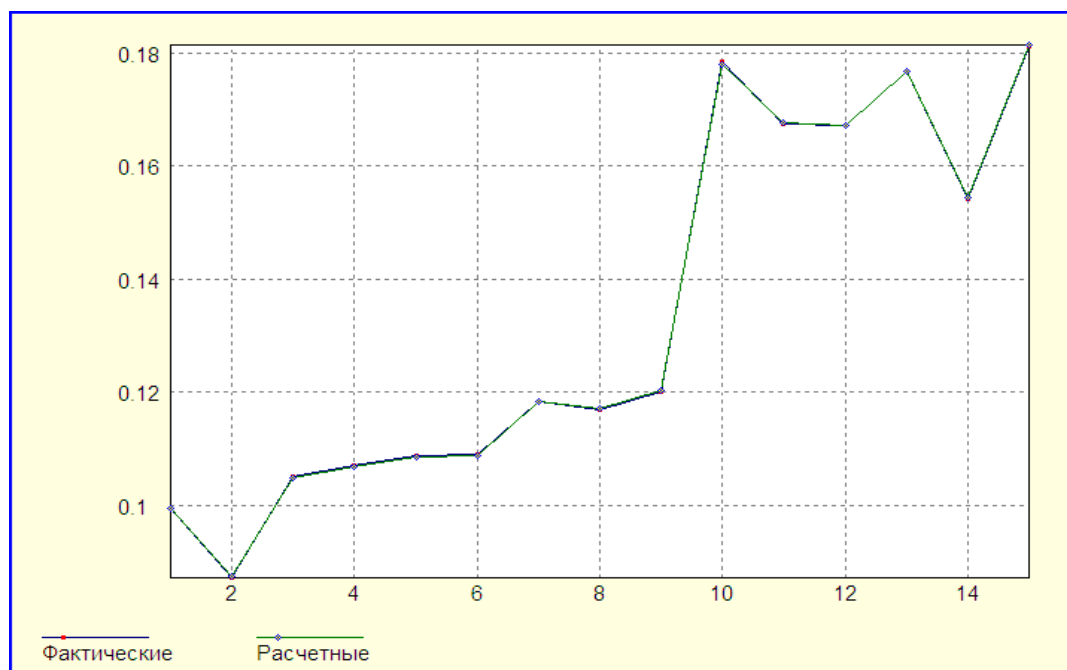


Рис. 4. Фактические результирующего признака «Доля загрязнения» и его расчетные значения по модели (6)

временного горизонта. Следовательно, она свободна от тех социально-экономических тенденций, которые уже ушли в прошлое, и в будущем, допускается ее развитие (расширение объема выборки) и применение для прогнозирования.

Подводя итоги, отметим, что возможность выбора конкретной модели прогнозирования основывается на оценке экономической эффективности рассматриваемых вариантов, которые учитывают целесообразность их преобразования. При этом преимущество отдается варианту, имеющему наименьшие капитальные вложения и эксплуатационные затраты, на первый план выходит сохранение предельно допустимых норм качества воды. На данный момент, к сожалению, основным в сохранении уровня качества воды является «латание дыр» в уже изношенных очистных сооружениях, а не усовершенствование или создание новых систем по очистке сточных вод или регулирующих водохранилищ.

Необходимо создание комплексных централизованных систем природных объектов, в которых предприятия являются только субъектами системы. В настоящее время подобные системы действуют лишь на особо охраняемых территориях, которые зачастую носят рекреационный характер и не участвуют в промышленном производстве, а именно промышленность является доминантой в общем объеме загрязнений в РФ. Составляющие системного эколого-экономического анализа – это, прежде всего, характер, форма и масштаб экологических взаимосвязей и взаимодействий, а также анализ устойчивости и адаптационные свойства природного объекта. Инструментами эколого-экономического анализа выступают математическое моделирование, методы оптимизации, теория принятия решений и др.

Статистическое нахождение математической модели эколого-экономической системы подразумевает в первую очередь выбор вида модели и определение ее параметров, при этом функция может быть как однофакторной, так и многофакторной. Поскольку одна и та же зависимость может быть описана самыми различными регрессионными уравнениями, то задача выбора вида модели является неформальной. После учета ряда критериев, например адекватности, компактности или интерпретируемости, обосновывается рациональность выбора той или иной эколого-экономической модели. Задача расчета параметров выбранной модели зачастую чисто формальная, осуществляется с помощью пакетов Statistica, MS Excel, Matrixer или других. Напротив, качественная интерпретация полученных результатов требует всестороннего анализа предметной области моделирования.

Список литературы

1. Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведения водоохранных мероприятий по территории деятельности Западно-Сибирского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Новосибирск, 2005–2012. Ч. 1, 2.
2. ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения М.: Изд-во стандартов, 1986. 55 с.

Материал поступил в редколлегию 01.09.2013

I. A. Kantaeva

Novosibirsk State University
2, Pirogov str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

E-mail: ikant1982@mail.ru

ASSESSMENT AND CREATION OF EXPECTED FACTORIAL MODEL OF THE ECOLOGICAL SITUATION OF THE BASIN THE OB-RIVER

Now the assessment and forecasting of various natural objects from the point of view of ecology is not well organized. The data about pollution are seldom exposed to the economic and ecologo-statistical analysis. The main aim of this article is to provide the factorial and correlation analysis of the creation of expected pollution level model the Ob river (Novosibirsk). Moreover, there is also identified the statistically significant factors taken from the official reporting. The author managed to hold the Numeric experiment on anticipatory forecasting of pollution volume in SWO depending on different factors.

Keywords: Environmental problems, factorial and correlation analysis, superficial water object.