

**Текст научного доклада на тему «Элементы прогнозирования динамики качества речных вод» старшего научного сотрудника ФГБУ «Гидрохимический институт»  
Решетняк Ольги Сергеевны,**

подготовленного для участия с устным докладом на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг», которая состоится с 20 по 22 сентября 2023 г. в г. Ростов-на-Дону

**Введение.** Исследование изменчивости качества речных вод, выявление и характеристика основной тенденции развития процессов формирования химического состава и качества воды дают основание для прогнозирования – определения будущего тренда изменчивости качества речных вод. Особенно актуальным является прогнозирование качества воды в условиях маловодных периодов в режимах отдельных рек и при изменениях условий водопользования в речном бассейне.

Важное место в прогнозировании занимают статистические методы. Предполагается, что если закономерность развития процесса, действующая в прошлом (внутри ряда данных), сохранится и в будущем, то в этом случае возможен прогноз на основе экстраполяции [1]. Применение экстраполяции в прогнозировании корректно, если развитие процесса в целом описывается плавной кривой (без резких скачков) и общая тенденция развития явления в прошлом и настоящем не будет претерпевать серьезных изменений в будущем. Поэтому надежность и точность прогноза зависят от того, насколько точно удалось охарактеризовать выявленную в прошлом закономерность. Экстраполяцию следует рассматривать как начальную стадию построения прогнозов [1]. Чем шире временные рамки прогнозирования, тем очевиднее становится недостаточность простого экстраполяционного метода из-за возможного изменения тенденции, наличия «точки поворота кривой», появления новых факторов влияния и т.д.

В теории статистики выделяют следующие элементарные методы экстраполяции [1]: среднего абсолютного прироста, среднего темпа прироста и экстраполяцию на основе выравнивания рядов по какой-либо аналитической формуле.

Предполагается, что тенденция формируется под воздействием множества факторов, причем не представляется возможным выделить отдельно их влияние. В связи с этим ход развития явления связывается не с какими-либо конкретными факторами, а с течением времени ( $y=f(t)$ ). Такая экстраполяция позволяет получить точечное значение прогноза. Любой статистический прогноз носит приближенный характер и целесообразно определение доверительного интервала [1]. Таким образом, прогноз любого природного процесса является важным с прикладной точки зрения, но достаточно условным.

Начиная с 80-х годов прошлого века прогнозирование качества воды рек в условиях антропогенного воздействия было связано с необходимостью оперативного прогнозирования для экстренного принятия мер по снижению или недопущению загрязнения водных объектов при аварийных сбросах сточных вод. В общих чертах «схема оперативного прогнозирования загрязненности отдельных участков рек» состоит из трех этапов [2].

1. Сначала необходимо определить «неблагоприятные условия», при которых возможно «опасное загрязнение речной воды на контролируемых ее участках» [2]. Это определяется гидрометеорологическими условиями (изменением уровней и расходов воды, вероятностью опасных гидрологических явлений и т.п.) и вероятностью аварийных сбросов

сточных вод, реально угрожающих вызвать высокий уровень загрязненности воды. То есть для составления прогноза качества воды рек сначала необходимо спрогнозировать (смоделировать) неблагоприятные условия.

2. Разработка и/или выбор метода прогноза. Это зависит от полноты и качества наблюдений, наличия достаточной информации, сложности обстановки на водном объекте. В работе [2] рекомендовано использовать одну из трех видов модели в качестве метода прогноза: модель баланса вещества (с гарантированными значениями параметров и эмпирических коэффициентов); прямые и косвенные статистические связи концентраций веществ с гидрометеорологическими параметрами; комбинирование первых двух видов моделей.

3. Оценка и анализ оправдываемости прогноза качества воды являются его завершающим этапом. «Прогноз считается неоправдавшимся, если фактические концентрации больше (или меньше) предсказанной величины (с учетом погрешности методики прогноза)» [2] или границ применимости выбранного метода прогноза.

Для прогнозной оценки и ее точности важным является временной аспект: краткосрочный прогноз или заблаговременный (долгосрочное прогнозирование). Считается, особенно в гидрометеорологической области прогнозирования, что точность кратко- и среднесрочных прогнозов выше, чем долгосрочных. В любом случае, надежность прогнозирования будет зависеть от комплексности и надежности систем наблюдений, полноты и достоверности информации, используемой для прогноза качества воды, квалификации специалиста и др. факторов.

С позиции оценки допустимого воздействия на водный объект со стороны сточных вод прогнозная модель может быть построена на основании одного-двух параметров, описывающих процессы трансформации веществ. Наиболее широко используются уравнения кинетики различных порядков. Например, классические уравнения Стритера-Фелпса описывают процесс трансформации органических веществ. В первом приближении «весь комплекс сбрасываемых в реку органических загрязняющих веществ оценивается потреблением кислорода и компенсационным воздействием атмосферной аэрацией» [3].

Необходимо учитывать многофакторность процессов, влияющих на качество воды и «сложный характер систем», поэтому полученные расчетным путем теоретические прогнозные модели качества воды для эффективного применения на практике требуют проведение сложных экспериментальных работ по апробации и верификации [4].

Разными авторами используются регрессионные методы для моделирования динамики качества воды и получения прогнозных оценок: методы авторегрессионного анализа, множественного регрессионного и факторного анализа, а также метод группового учета аргументов для прогнозирования качества воды водных объектов.

Наиболее простой и достаточно эффективный метод прогнозирования качества воды рек – это построение уравнений регрессии (прогнозные модели), характеризующие зависимость изменения массовой концентрации вещества во времени. Для приемлемых моделей предполагается, что коэффициент детерминации должен превышать 50%. Однако изменение содержания химических веществ в воде не всегда имеет четкий временной тренд и прогноз качества воды будет неточным из-за естественной значительной вариабельности значений концентраций [5]. Также достаточно просто строятся прогнозы методом построения логарифмического тренда при наличии длительных рядов данных показателей. Так, например, можно сделать прогноз динамики антропогенной нагрузки на водный объект

в разные по водности периоды на основе анализа динамики сбросов сточных вод, данных о планируемых (прогнозных) объемах промышленного водопотребления [6].

На основе результатов комплексной оценки качества воды по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) за многолетний период могут быть получены прогнозные модели динамики качества речных вод.

**Результаты и обсуждение.** В качестве объектов выбраны верхние и нижние участки рек Ока и Дон, расположенные в разных природных зонах (т.е. имеющие различные условия формирования химического состава воды). Построены тренды изменения значений УКИЗВ (за период 1990-2015 гг.) на участках реки Ока (рис. 1): в районе г. Орёл – верхнее течение, г. Горбатов – нижнее течение и на участках реки Дон (рис. 2): выше г. Задонск – верхнее течение, в черте ст-цы Раздорская – нижнее течение реки. Уравнения регрессии (прогнозные модели) для исследования динамики качества воды на отдельных участках рек Ока и Дон представлены в таблице 1. На основе анализа представленных графиков и регрессионных зависимостей можно сделать следующие выводы:

- тенденция изменения качества воды на отдельных участках реки Ока имеет общую направленность на снижение степени загрязненности речных вод (рис. 1);

- для реки Дон наблюдаются разнонаправленные тренды: в верхнем течении реки сформировался за многолетний период возрастающий тренд (тенденция ухудшения качества воды), в нижнем течении – убывающий тренд (снижение значений УКИЗВ) (рисунок 2), то есть улучшение качества воды;

- уравнения регрессии имеют коэффициент детерминации ниже 0,50, что говорит о низкой точности моделей (таблица 1);

- сопоставление прогнозных и реальных значений УКИЗВ за 2019 и 2021 года для исследуемых участков рек показало приемлемый уровень прогноза только для участка р. Дон, ст-ца Раздорская (таблица 2).

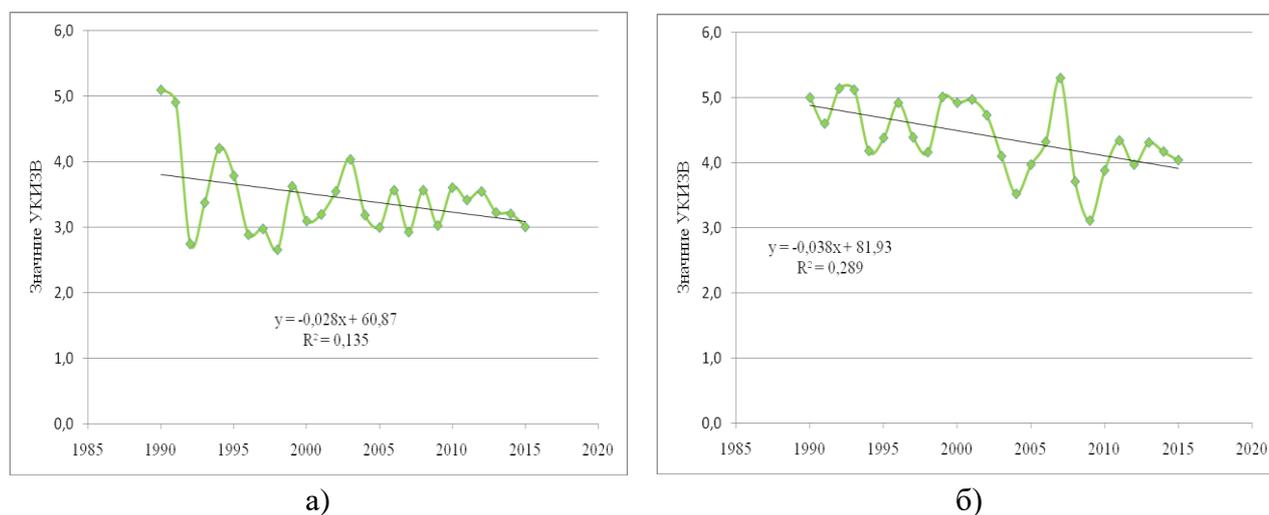
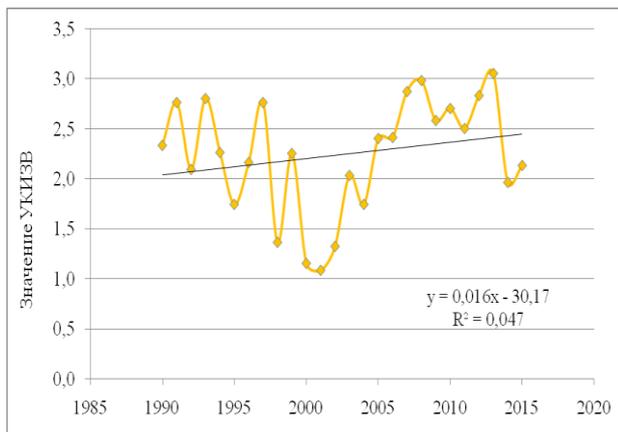
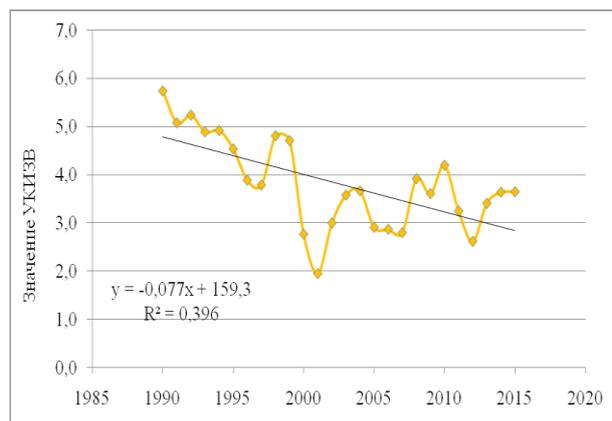


Рисунок 1 – Тренды изменения значений УКИЗВ на участках реки Ока:

а – ниже г. Орёл, б – г. Горбатов



а)



б)

Рисунок 2 – Тренды изменения значений УКИЗВ на участках реки Дон:  
а – выше г. Задонск, б – в черте ст-цы Раздорская

Таблица 1 – Уравнения регрессии (прогнозные модели) и прогнозные значения УКИЗВ для отдельных участков рек Ока и Дон

Река – пункт наблюдений	Уравнение регрессии ( $R^2$ )	Значение УКИЗВ		
		2021 г.	2023 г.	2030 г.
р. Ока – ниже г. Орел	$y = -0,028 \cdot x + 60,87$ (0,14)	4,28	4,27	4,03
р. Ока – г. Горбатов	$y = -0,038 \cdot x + 81,93$ (0,29)	5,13	5,06	4,79
р. Дон – выше г. Задонск	$y = 0,016 \cdot x - 30,17$ (0,05)	2,17	2,20	2,31
р. Дон – ст. Раздорская	$y = -0,077 \cdot x + 159,3$ (0,40)	3,68	3,53	2,99

Примечание: цветовое обозначение класса качества воды (ККВ):

	– 3-й ККВ (разряды «А» и «Б») – «загрязненная» и «очень загрязненная»
	– 4-й ККВ (разряды «А» и «Б») – «грязная»

Таблица 2 – Сопоставление прогнозных и реальных значений УКИЗВ для отдельных участков рек Ока и Дон

Река – пункт наблюдений	Реальное значение УКИЗВ в		Прогноз по уравнению на 2019 г.		Прогноз по уравнению на 2021 г.	
	2019 г.	2021 г.	значение	отклонение, %	значение	отклонение, %
р. Ока – ниже г. Орел	3,43	2,98	4,34	+21,0	4,28	+30,4
р. Ока – г. Горбатов	3,63	4,12	5,21	+30,3	5,13	+19,7
р. Дон – выше г. Задонск	1,29	1,53	2,13	+38,9	2,17	+29,5
р. Дон – ст. Раздорская	3,80	3,81	3,84	+1,0	3,68	+3,5

Примечание: цветом выделен приемлемый прогноз значения УКИЗВ для прогнозирования качества воды.

## **Заключение**

Таким образом, прогнозирование качества воды, степени ее загрязненности или состояния водного объекта базируется на использовании математических моделей разной сложности. При этом необходимо учитывать все факторы формирования химического состава и качества воды с учетом существующих и планируемых (прогнозируемых) внешних воздействий на водный объект. Для повышения точности прогноза сначала необходимо спрогнозировать неблагоприятные условия.

В целом надежность прогнозирования будет зависеть от комплексности и надежности систем наблюдений, полноты и достоверности информации, используемой для прогноза качества воды, квалификации специалиста и др. факторов, а также от правильно подобранной модели прогноза качества воды, уровня ее сложности, количества параметров в модели и т.п.

Прогнозирование динамики качества речных вод в современных условиях антропогенного воздействия является важной составляющей системы мониторинга состояния и загрязнения водных объектов, а также может быть использовано при разработке и оценке эффективности природоохранных мероприятий на водосборной территории.

## **Список использованной литературы**

1. Общая теория статистики: учебник / Под ред Р.А. Шмойловой. – 3-е изд. перераб. – М.: Финансы и Статистика, 2002. – 560 с.
2. Клименко О.А., Фадеев В.В., Тарасов М.Н., Кореновская И.М. Прогнозирование качества воды рек в условиях антропогенного воздействия. В сб. статей: Вопросы контроля загрязнения природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1981. – с. 94-98.
3. Пряжинская В.Г. К вопросу определения нормативов допустимых воздействий на водные объекты и допустимых сбросов сточных вод. В сб.: Стратегические проблемы водопользования России: сборник научных трудов. / Отв. ред. проф. В.Г. Пряжинская. ИВП РАН; Северо-Кавказский филиал РосНИИВХ. – Новочеркасск: НОК, 2008. – с. 79-92 с.
4. Соколов С.А. Специальные эксперименты для апробации и верификации расчетной модели прогноза качества воды в слабопроточных водоемах // Экология и промышленность России, май, 2013. С.47-51.
5. Боронина Л.В., Садчиков П.Н., Усынина А.Э., Тажиева С. З. Прогноз экологического состояния поверхностных вод Нижневолжского бассейна // Юг России: экология, развитие. №3, 2012. С. 12-16.
6. Стоящева Н.В. Антропогенная нагрузка на водные объекты Верхней Оби в разные по водности периоды: динамика и прогноз // Водное хозяйство России, № 3, 2020. – с. 52-67.