

удк 517

И. В. Гордин

Неконтролируемость и неидентифицируемость загрязнения — ключевые категории экологической информатики

Аннотация. Мониторинг источников загрязнения — важнейшее направление экологической кибернетики и информатики. Однако значительная часть источников не контролируется. Программы природоохранных мероприятий оказываются сосредоточенными только на управлении теми потоками загрязнений, которые оказались под контролем. В результате эффективность программ существенно снижается. Проблема изучается на примере охраны водных ресурсов.

Универсальным принципом синтеза оптимальных систем управления на всех иерархических уровнях решения задачи устойчивого развития регионов и планеты в целом является надежность экологического мониторинга по всем значимым параметрам. Однако для ряда объектов не только отсутствуют системы надежного мониторинга, но неадекватны сами представления о необходимом и достаточном множестве координат, которые должны идентифицироваться и контролироваться. Рассмотрим эту проблему экологической информатики на примере систем управления качеством водных ресурсов.

Со второй половины прошлого века все развитые страны предприняли колоссальные усилия с целью радикального оздоровления экологической и санитарно-эпидемиологической ситуации на своих водных объектах. Пик водоохранного строительства в России пришелся на 1970–1980-е годы и ознаменовался выдающимися достижениями в деле сокращения сброса сточных вод за счет повсеместного строительства городских и поселковых очистных сооружений, мощных систем очистки и оборотного водоснабжения во всех отраслях промышленности, замкнутых систем водопользования для целых промрайонов с городскими жилыми массивами и прилегающими сельхозугодиями [1–3].

И, естественно, главный научный и практический интерес представляет конечная эффективность проводимых мероприятий, их фактическое влияние на качество воды в бассейнах. Однако даже в период наиболее интенсивного водоохранного строительства экологический мониторинг не фиксировал улучшения качества воды по целому ряду важнейших показателей. Как объяснение этого факта неэффективности колоссальных капиталовложений в гидроэкологии возникли три гипотезы, сыгравшие значительную роль в развитии природоохранной теории и практики [3], [4].

Первая гипотеза: строящиеся очистные сооружения по ряду ингредиентов неэффективны. Самым масштабным доказательством этого положения является неспособность станций механико-биохимической очистки, т.е. подавляющего большинства городских, поселковых и общезаводских очистных сооружений, задерживать азот и фосфор. При этом водоохранное строительство оказывается индифферентным к предельно актуальной проблеме эвтрофирования (цветения) водоемов.

ТАБЛИЦА 1. Эффективность автоматизированной системы доочистки

Загрязняющие вещества	Вход системы	Выход системы	
		Первая ступень	Вторая ступень
Взвешенные, мг/л	7,0-14,0	4,8-7,0	0,5-2,6
Органические, мг БПК _п /л	6,0-18,0	4,0-8,0	1,6-4,0
Микробное число, тыс.клеток/мл	36-85	14-23	6-9
Аммоний, мг/л	5,5-9,2	3,0-4,9	0,3-1,0
Фосфаты, мг/л	5,1-7,7	4,8-7,2	4,6-7,0

Практическим выводом первой гипотезы является необходимость совершенствования локальных, общезаводских, городских очистных сооружений (ГОС), строительство станций доочистки сточных вод, прошедших механико-биохимическую очистку. И на этом направлении достигнуты выдающиеся технологические результаты. В частности, в табл. 1 представлены характеристики одной из отечественных систем доочистки [1]. Данная автоматизированная установка эффективно удаляет из сточных вод взвешенные вещества, органику, патогенную микрофлору, аммоний. Фосфаты проходят установку практически беспрепятственно, и для их удаления система дополнена

специальным автоматизированным блоком физико-химической обработки.

Радикальным решением экологических проблем полагается создание оборотных систем водоснабжения и замкнутых систем водопользования промрайонов на базе повторного использования в промышленном и сельскохозяйственном производстве кондиционированных городских и промышленных сточных вод.

Вторая гипотеза: действующая система мониторинга не способна зафиксировать все изменения, которые происходят в бассейнах под влиянием негативных и позитивных антропогенных воздействий. С этим нельзя не согласиться, когда из тысяч примесей нормируются только сотни и только 20–30 из них надежно измеряются. Причем пространственно-временная сетка этих измерений назначается не из соображений регистрации тех или иных переходных процессов по теореме Котельникова, а исключительно из возможностей химлабораторий.

Практический вывод: необходимость создания технически совершенных систем мониторинга, позволяющих всесторонне отследить и проанализировать последствия проводимых водоохранных мероприятий.

Надо заметить, что если в технологических проработках (включая и аспект автоматического регулирования технологических процессов) мы долгое время соперничали с развитыми странами, то в области гидроэкологического мониторинга отставание всегда было явным. И главная причина - аналитическая база. Уже начиная с 1970-х годов США надежно идентифицировали в природных водах более 1500 органических соединений.

Третья гипотеза, разрабатываемая с позиций экологической информатики, главной причиной неэффективности природоохранных программ считала неадекватность их исходной информационной базы. И в первую очередь, неполноту блока «Источники загрязнения» [1], [4].

Источники загрязнения всегда были одним из главных предметов теоретической и практической экологии. Многообразие источников требовало самых разных классификационных признаков: гидравлическая и массовая мощность; физико-химический и биохимический

состав стока; принадлежность к генерирующей отрасли, предприятию; степень токсикологической, санитарной, эпидемической, экологической опасности; точечность, канализованность, распределенность, диффузность; стационарность (временная), нестационарность, стационарность (пространственная), мобильность, штатность, аварийность и т.д.

Но системный анализ показывал, что для объяснения сложившейся в водоохранном проектировании и строительстве ситуации в названное классификационное пространство необходимо ввести принципиально новые координаты из области информатики. При определении источников загрязнения бассейна разработчики водоохраных проектов используют известную форму 2тп-водхоз, достаточно детально учитывающую контролируемые канализационные выпуски. При этом действия неконтролируемых источников загрязнения бассейна как бы не существуют. Нарушаются важнейшие положения системного анализа (определение полной группы событий, определение полного вектора возмущающих воздействий).

Опираясь на общие положения кибернетики и информатики, третья гипотеза не является вместе с тем теоретической абстракцией. Она разрабатывается по мере все более детального экспериментального изучения невидимых, неучитываемых поступлений загрязняющих веществ в природную гидросферу (и канализованных, и диффузных). Приведем два эпизода анализа этих латентных процессов, которыми автор занимался в Кузбассе в докризисный период.

На заводе «Электромашина» (Прокопьевск) синтезировалась автоматизированная станция нейтрализации сточных вод гальваноцеха. Здесь возникали интересные кибернетические задачи управления потоками. Кислотные стоки использовались взамен товарных реагентов в реакторах восстановления шестивалентного хрома бисульфитом натрия (оптимум проведения реакции $\text{pH} = 2,5$), щелочные направлялись в реакторы окисления цианидов (оптимум проведения реакции $\text{pH} = 11,5$) и т.д. Создание таких АСУ ТП является одной из самых творческих задач автоматического регулирования процессов очистки сточных вод.

В ходе исследования системы водоотведения в карту экспериментального контроля наряду с производственными выпусками был

включен и замыкающий колодец неконтролируемой ливневой канализации промплощадки. Концентрации металлов колебались примерно одинаково как в производственных сточных водах, так и в условно-чистом стоке ливневой канализации. Выделялись только аварийные прорывы технологического раствора меди через автоматизированный электрокоагулятор. По ХПК, БПК, нефтепродуктам ливневой сток оказался несоизмеримо хуже производственного. В то время как максимумы нефтезагрязненности производственных сточных вод не поднимались выше 5-6 мг/л, в ливневой канализации зафиксированы концентрации до 9600 мг/л. Первым потоком предстояло заняться на базе АСУ ТП, чтобы сделать его еще менее опасным для природной гидросферы. Вторым вообще не надо заниматься, поскольку он проходит в отчетности 2тп-водхоз по графе «условно-чистый». Эти локальные сопоставления заставили серьезно усомниться вообще в правильности путей, на которых техническая кибернетика ищет выход из гидроэкологического кризиса.

Другой промплощадкой исследования феномена неконтролируемого загрязнения стал Томь-Усинский ремонтно-механический завод (Междуреченск). Территория завода занимает 28,5 га, в том числе: застройка 5 га, твердые покрытия 0,7 га, зеленые насаждения 1,5 га. Источники водоснабжения предприятия: городской водопровод — 68 тыс.м³/год, технический водозабор из Томи — 80 тыс.м³/год. Сброс хозяйственно-бытовых сточных вод в городскую канализацию — 57 тыс. м³/год, производственных на заводские очистные сооружения — 30 тыс.м³/год. Таким образом, безвозвратные потери составляют 61 тыс.м³/год, т.е. 41% общего водопотребления.

Такой водохозяйственный баланс вызвал серьезные сомнения. Были проведены детальные расчеты реальных потерь воды. Потери на испарение и капельный унос в градирнях оценены в 7,5 тыс.м³/год, расход на полив территории и зеленых насаждений 3 тыс.м³/год, прочие расходы 0,5 тыс.м³/год. Итого 11, но никак не 61 тыс.м³/год. К неизвестно куда девающимся 50 тыс.м³/год сточных вод необходимо прибавить как минимум 65 тыс.м³/год тало-дождевых вод, формирующихся на площадке. Таким образом, из 202 тыс.м³/год годового объема водоотведения 30 тыс.м³/год реально контролируются и очищаются на заводских сооружениях, 57 тыс.м³/год контролируются только количественно (перекачиваясь на ГОС) и 115 тыс.м³/год (57%) оказываются абсолютно неконтролируемыми. Как они уходят в природную гидросферу и сколько приносят в нее загрязняющих примесей, неизвестно.

Графики загрязненности выходящих с завода потоков изображены на рис. 1.

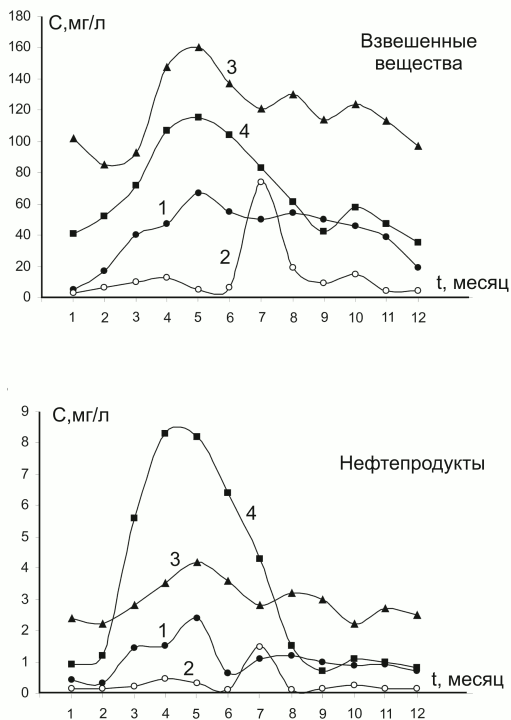


Рис. 1. Динамика среднемесячных концентраций загрязняющих веществ в сточных водах Томь–Усинского завода: 1 — производственный сток, 2 — очищенный производственный сток, 3 — хозяйственно-бытовой сток, 4 — сток дренажного канала-коллектора

Сезонный ход концентраций взвешенных и нефтепродуктов говорит о несомненном проникновении в производственную канализацию талых и дождевых смывов промплощадки. Свой вклад вносит пост мойки автотранспорта, особенно загрязняемого в весеннюю распутицу. Достаточно эффективная очистка в условиях весенней перегрузки

дается ценой избыточного зашламовывания грязеотстойника и флотаторов, забивания фильтров. В работоспособное состояние систему возвращает июльская промывка, характеризующаяся резким всплеском выходных концентраций. Менее заметный, но тоже зафиксированный след оставляет осенняя и летне-осенняя грязь площадки и в хозяйственно-бытовой канализации. Спецификой хозяйственного стока завода являются высокие концентрации нефтепродуктов, не снижающиеся ниже 2 мг/л. Это объясняется избытком ГСМ в цехах и на территории завода, интенсивной работой моек, душевых кабин, прачечной спецодежды. Весной резко нарастает загрязненность стока от мойки полов в цехах и бытовых помещениях. Главным путем проникновения грязи в хозяйственную канализацию является вынужденное открытие ее колодцев для ликвидации подтопления территории. В колодцы хозяйственно-бытовой и производственной канализации уходит около 20 тыс.м³ годового объема тало-дождевых вод. Значит, остается неясной судьба 95 тыс.м³ образующегося в промзоне стока.

Ответ на этот вопрос дали специально организованные круглогодичные измерения загрязненности дренажного канала-коллектора завода. Как и большинство дренажных систем, канал полагается условно-чистым, пропускаям 130 тыс.м³/год фильтруемых в него природных болотных вод. Нет никаких сомнений, что именно через этот канал в Томь уходят ненайденные 95 тыс.м³/год сточных вод завода, включая основной объем поверхностного смыва с территории.

Подведем итоги действительного водохозяйственного баланса. Контролируемо с завода уходят только 30 тыс.м³/год очищенных производственных сточных вод с остаточной, официально фигурирующей в отчетах 2тп-водхоз, концентрацией после сорбционных фильтров 5-10 мг/л по взвешенным и 0,1-0,2 мг/л по нефтепродуктам. Всего за год этот официальный сброс составляет по самой завышенной оценке 300 кг взвеси и 6 кг нефтепродуктов. Реально же с учетом тало-дождевой перегрузки имеем 420 кг и 9 кг соответственно. Но это мелкие погрешности технологического контроля в сравнении с тем, что в городскую канализацию уходит неконтролируемо 6,7 т взвеси и 165 кг нефтепродуктов. Этот поток осложняет работу ГОС, но все-таки он подпадает под контроль Росприроднадзора, хотя бы на этом «обезличенном» этапе. Воды дренажного канала поступают в Томь без всякого контроля. А это еще 8,8 т взвешенных и 429 кг нефтепродуктов. Ее нетрудно рассчитать. Степень бесконтрольности процесса генерации взвешенных примесей: $1 - 0,3 / (0,42 + 6,7 + 8,8) = 1 -$

$0,3/15,9 = 98\%$. По нефтепродуктам степень неконтролируемости источника загрязнения равна: $1 - 6/(9 + 165 + 429) = 1 - 6/603 = 99\%$. Эти объективные соотношения не попадают в поле зрения водохозяйственных и природоохранных органов, Росприроднадзор полагает, что он контролирует ситуацию и способен к эффективным управляющим воздействиям.

Современную остаточную загрязненность сточных вод Кузбасса, контролируемо выходящих с ГОС, и загрязненность малых рек, протекающих в городской черте и являющихся фактически коллекторами неконтролируемых сбросов, отражает рис. 2 ([1]).

Загрязняющие вещества	г. Новокузнецк		г. Кемерово		
	выход ГОС	р. Аба	выход ГОС	р. Искитимка	
Взвешенные	10,7	32	12,5	17,6	
ХПК	20,8	55,9	15,7	22,2	
Азот	аммонийный	1,3	1,54	0,24	0,86
	нитритный	0,14	0,11	0,15	1,6
	нитратный	15,6	10,5	18,7	1,3
Фосфаты	1,3	0,6	5,5	2,7	
Железо	0,29	0,84	0,15	0,82	
Медь	0	0,014	0	0,015	
Нефтепродукты	0,09	1,25	0,08	0,72	
Фенолы	0,001	0,008	0,003	0,004	
СПАВ	0,15	1,6	0,15	1,1	

Рис. 2. Концентрации загрязняющих веществ в очищенных сточных водах и в малых реках, протекающих через города Кузбасса

Как видим, по большинству показателей сток ГОС значительно чище рек, в которые он сбрасывается. В этой экологически тупиковой ситуации глубокая очистка стока ГОС ошибочно считается Росприроднадзором стратегическим достижением.

Повышенная загрязненность малых рек в черте промышленных городов России повсеместно формируется в результате функционирования санкционированных и несанкционированных прямых канализационных выпусков с предприятий, не имеющих локальных очистных сооружений, скрытых врезок производственных сточных вод в

ливневку, аварийных технологических сбросов, ночных сбросов жидких отходов из накопителей суточного регулирования и т.д. И даже если в каком-нибудь городе не останется никакой промышленности, что для ряда городов с 2009 года становится реальной перспективой, то, несомненно, останутся стационарные утечки и аварии хозяйственно-бытовой канализации, которые также создают дополнительное неконтролируемое загрязнение водных объектов. И, конечно, всегда присутствует поверхностный, диффузный смыв с территорий.

Много усилий было предпринято для привлечения внимания к проблеме неконтролируемого загрязнения и его влияния на конечную эффективность водоохранных программ и систем управления состоянием водных ресурсов. Однако, когда феномен неконтролируемого загрязнения получил всеобщее признание, бывшее невнимание к нему стало восприниматься как экологический нонсенс. Поэтому целесообразно дать комментарии, уточняющие историю вопроса.

Во-первых, отнесение на протяжении десятилетий некоторых классов сточных вод к условно-чистым не следует считать однозначным признаком невнимания. Скорее, это интуитивное формирование водоохранной стратегии с оптимальной очередностью мероприятий. Первоочередные — хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды, перспективные — ливневая канализация, термальные воды теплоэнергетики, сбросные воды ирригационных систем и др. Надо помнить, что игнорирование проблемы зарождалось на фоне колоссального канализованного сброса абсолютно неочищаемых сточных вод городов и промрайонов.

Во-вторых, многие неконтролируемые источники загрязнения не игнорировались, а считались временным явлением, которое будет ликвидировано по тем же схемам, что и канализованные потоки. Так, экологическим кошмаром стала гигантомания животноводческих комплексов, приведшая к беспрецедентным диффузным смывам в гидросферу. Но эта опасность возникла не вследствие игнорирования проблемы, а, напротив, как попытка ухода от антиэкологичности малых ферм. Разработчики проектов были уверены, что высокотехнологичная очистка и утилизация сконцентрированных отходов крупных животноводческих комплексов — вполне решаемая задача.

В-третьих, хотя концептуально проблема неконтролируемого загрязнения загонялась в тень, водоохранная практика немало делала для ее решения. Во всяком случае, больше, чем сейчас, когда все

теоретически прояснено и практически доказано, но разрушена технологическая база решений.

Эколого-экономической драмой рассматриваемой фазы развития природоохранной стратегии явилось то обстоятельство, что водоохранные программы по инерции ориентировались на «ужас» канализованных и контролируемых сточных вод, а качество воды в бассейнах уже определяли неконтролируемые, главным образом диффузные, источники.

Казалось, что наметившаяся тенденция в дальнейшем будет только усугубляться вследствие прогресса в очистке сосредоточенных потоков и неуклонного расширения диффузно загрязняемых территорий, особенно в условиях все более «небрежной» разработки нефтегазовых месторождений Сибири. Промышленный спад 1990-х сделал эту тенденцию еще более выраженной, сельскохозяйственный — несколько сгладил.

Но с началом некоторого производственного подъема 2000-х годов вследствие обвального разрушения очистных сооружений лидерство опять захватил канализованный производственный и хозяйственно-бытовой сток, ввергая нас в пучину экологического кризиса образца середины прошлого века, когда потоки неочищенных хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод прямо из канализационных труб сливались в природные водоприемники. Промышленные системы очистки при дополнительных ремонтных затратах как-то продержались только за счет пониженной нагрузки. Но городские, поселковые очистные сооружения, нагрузка на которые не снижалась в период производственного спада 1990-х годов и продолжает увеличиваться, находятся в состоянии критическом.

Эту фазу может сменить еще более опасная. Начинается она с того, что типовые канализованные потоки в отличие от своих аналогов прошлого века уже никак нельзя считать надежно контролируруемыми ни по расходу, ни по составу сточных вод. Одним из ярчайших примеров новейшего вида неконтролируемого загрязнения водных объектов, включая источники централизованного водоснабжения, является потайной канализованный сброс массовой дачно-коттеджной застройки [1], [2], [5].

Ситуация усугубляется тем, что из-за физического износа и разрушения не только очистных сооружений, но и подводяще-отводящих сетей непрерывно увеличивающуюся часть потоков уже нельзя считать и канализованными. К великому сожалению, мы наблюдаем, как

целые классы канализованных сточных вод, ранее надежно утилизируемых или глубоко очищаемых перед сбросом, во всяком случае надежно контролируемых, присоединяются к экологически коварной категории неконтролируемых источников загрязнения.

Сегодня экологическую ситуацию «поддерживает на плаву» усугубление общего экономического кризиса. Однако по опыту 1990-х гг. можно уверенно сказать, что экологически позитивное снижение производственной нагрузки будет компенсироваться нарастанием бесконтрольности сброса отходов оставшимися производствами и жилищно-коммунальным хозяйством.

Несмотря на официальное признание третьей гипотезы научной общественностью и природоохранными ведомствами, до сих пор встречаются отдельные попытки занижения научно-методологического значения информационных категорий «контролируемость-неконтролируемость», попытки отождествления их с физическим признаком «точечность-диффузность». Некоторые специалисты видят методологическую плодотворность информационного подхода только в том, что к одному классу («неконтролируемые») отнесены все исходно распределенные потоки независимо от степени их последующей канализации. Другие полагают, что категории информатики полезны только тем, что содействует обоснованию мониторинговых разработок, компьютеризации природоохранных технологий. В этих оценках не улавливается главный смысл перехода к информационному признаку классификации, к классификации по признаку влияния на результативность природоохранных программ через их исходную информационную базу. А этот аспект следует считать важнейшим, принципиальным ровно настолько, насколько принципиален вопрос о конечной эффективности природоохранных мероприятий, об их реальном влиянии на качество окружающей среды.

Сегодня, когда природоохранное строительство недопустимо свернуто, как будто бы не время размышлять об оптимизации проектирования. Однако даже в этих условиях принцип системной оценки всей совокупности источников загрязнения должен быть основополагающим принципом разработки программ строительства и синтеза систем управления. При этом тенденция снижения информационной обеспеченности неизбежно заставляет переходить к укрупненным, вариантным, вероятностным расчетам и алгоритмам управления. Но ни

в коем случае не к детальным проработкам и регулирующим воздействиям по информационно обеспеченным блокам с игнорированием системного взгляда на формирование антропогенной нагрузки.

Экология должна распрощаться со стереотипом «потерянного кошелька»: «теряем там, где темно» (загрязняем биосферу неконтролируемыми, неидентифицируемыми, латентными потоками), «а ищем, где светло» (пытаемся выправить ситуацию все более совершенными решениями в области технологии очистки и утилизации контролируемых потоков загрязнения).

Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ, проект № 07-02-00043а.

Список литературы

- [1] Гордин И.В. Кризис водоохранных зон России. — М.: Физматлит, 2006. — 196 с. ↑(document)
- [2] Гордин И.В. *Современная динамика загрязнения окружающей среды* // Экономика природопользования, № 3, 2003, с. 26-34. ↑(document)
- [3] Гордин И.В. *Фазы развития и актуальные проблемы эколого-экономической оптимизации водоохранной системы РФ* // Экономика и математические методы, № 4, 2003, с. 17-27. ↑(document)
- [4] Гордин И.В. *Методологическое значение классификации источников загрязнения биосферы по информационному признаку* // Вестник IASS «Информатика, экология, экономика», № 1, 2001, с. 12-18. ↑(document)
- [5] Гордин И.В. *Система мониторинга процесса застройки водоохранных зон* // Вестник IASS «Информатика, экология, экономика», № 1, 2007, с. 48-52. ↑(document)

I. V. Gordin. *Uncontrolled and unidentified pollution — key categories of ecological computer science* // Proceedings of Program Systems institute scientific conference “Program systems: Theory and applications”. — Pereslavl-Zalesskij, v. 1, 2009. — p. 277–288. — ISBN 978-5-901795-16-3 (*in Russian*).

АБСТРАКТ. Мониторинг источников загрязнения — основное направление экологической кибернетики и компьютерной науки. Однако значительная часть источников не контролируется. Программы природоохранительных действий выявляют те потоки загрязнения, которые концентрируются только на территории, находящейся под контролем. В результате эффективность программ существенно снижается. Проблема изучается на примере защиты водных ресурсов.