

ВОДА БОЛЬШИХ ГОРОДОВ (химическое загрязнение)

Доктор химических наук
С. Л. ДАВИДОВА

“Вода – ты сама жизнь!”
А. де Сент-Экзюпери.

Вода. На всех языках мира почти ежедневно звучит это важное слово. Когда ученые, исследуя другие планеты, ставят вопрос, есть ли жизнь еще где-нибудь в Солнечной системе, то первое, на что они обращают внимание, – есть ли вода на данной планете, ибо без воды жизнь существовать не может.

Примерно 70% поверхности Земли покрыто морями и океанами. Но это – соленая вода. А все основные наземные экосистемы (в том числе и человека) зависят от наличия пресной воды, содержащей только сотые доли солей. Ее – всего-то менее 1% мирового запаса.

Вода является главной составной частью биосферы. Обладая рядом аномальных свойств, она влияет на все физико-химические и биологические процессы на нашей планете. Для воды характерны повышенная миграционная способность и повышенная способность к взаимодействию с сопредельными природными средами, что и определяет ее потенциальную возможность накапливать самые разнообразные загрязняющие вещества. Бурная урбанизация последнего

времени, резко увеличивая потребление пресной воды в мире (см. рис. 1), усиленно загрязняет гидросферу, поэтому столь пристальное внимание привлекает состояние воды больших городов.

Экономические, природные и социальные условия планеты находятся под сильным воздействием роста населения, изменения его возрастной структуры и распределения населения между сельскими и городскими районами. В начале XX в. лишь 14% населения Земли проживало в городских зонах, сегодня 41% населения – жители городов (из них 73% – в развитых странах и 32% – в развивающихся). К 2010 г., как считают, в городах будет проживать уже две трети населения планеты.

Приведем динамику роста населения мегаполисов во второй половине XX в. (табл. 1). Место Москвы как мегаполиса переместилось со второго в 1950 г. на пятое в 1970 г., а в новом столетии и вовсе исчезло из списка¹.

Из табл. 1 видно, какими темпами беспрецедентная урбанизация в мире привела к возникновению мегаполисов – городов с населением более чем 20 млн. человек. По прогнозам ООН, к 2010 г. количество мегаполисов увеличится до 30, причем две трети из них будут в развивающихся странах. Такие города уже сейчас страдают от сильного за-

¹См.: Davydova S.L. *Microchemical Journal*, 2004, p. 133.

Рис. 1.
Рост потребления воды в мире
(в объемах воды,
используемой человеком, км³).

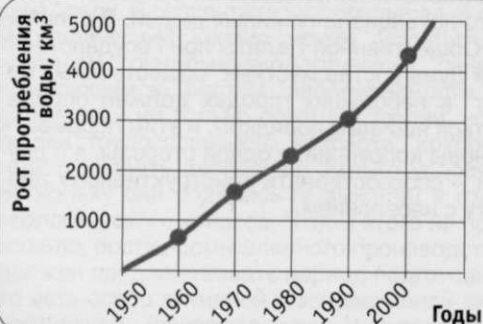


Таблица 1

Динамика роста населения мегаполисов во второй половине XX в., млн. чел.

1950 г.		1970 г.		1990 г.		2003 г.	
Нью-Йорк	12.3	Нью-Йорк	16.2	Мехико	20.2	Мехико	25.6
Москва	4.8	Токио	12.3	Сан-Пауло	17.4	Сан-Пауло	22.1
Милан	3.6	Мехико	10.4	Нью-Йорк	16.5	Нью-Йорк	17.0
Мехико	3.1	Сан-Пауло	8.1	Шанхай	13.4	Шанхай	17.0
Бомбей	2.9	Москва	7.1	Пекин	10.8	Пекин	14.0
Неаполь	2.1	Милан	5.5	Каир	9.0	Каир	11.8
Каир	1.9	Каир	5.3	Москва	8.5	Карачи	11.7

грязнения воды и воздуха. Например, загрязнение атмосферы и гидросферы Мехико служит причиной тысяч преждевременных смертей за год.

Как в развивающихся, так и в развитых странах урбанизация создает колоссальные проблемы. В городах концентрируются твердые отходы, отмечаются высокие уровни шума, химического загрязнения воздуха и воды. Население страдает от стрессов, наблюдается высокий процент заболеваемости. Городские системы сильно зависят от внешних экосистем, поставляющих им продовольствие, воду, энергию, сырье и другие ресурсы и поглощающих накопившиеся городские отходы. На рис. 2 приведены данные потребления ресурсов городов с миллионным населением. Показательно, что самые большие объемы приходятся на потребление воды.

Распределение водных ресурсов Земли представлено в табл. 2. Для использования в городах реально доступна лишь 0.001 часть от общего количества пресной воды, порядка 0.003%.

Различают *возвратное потребление* – с возвращением забранной воды в источник

(коммунальное хозяйство, промышленность, водохранилища) и *безвозвратное водопотребление* – с расходом ее на фильтрацию, испарение и т.п. Хотя запасы речных вод невелики (0.0001% объема всей гидросферы), именно речная вода обеспечивает основной объем потребляемой воды в быту и народном хозяйстве, так как только речные воды обладают значительной способностью к возобновлению и самоочищению.

Урбанизация, интенсивное развитие промышленности, сельского хозяйства ведут к непрерывному увеличению водопотребления. В течение XX в. оно возросло более чем в 7 раз. На многих реках России водозабор составляет более 50% от среднего многолетнего стока (р. Кубань, Урал, Миасс и др.), на Дону водозабор составляет даже 64%. Наблюдающаяся деградация водных объектов, особенно в европейской части России, на Урале, в Кузбассе, связана со слишком большим забором речной воды.

В соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), если в результате изменения химического состава (или состояния) вода становится ме-



Рис. 2. Потребление ресурсов, сбросы и выбросы города с населением в 1 млн. чел. (т за сут.).

Таблица 2

**Глобальное распределение
водных масс в гидросфере
(по М.И. Львовичу, 1986)**

Форма нахождения	Объем, 10 ³ км ³	Процент
Мировой океан	1370000	94.0
Подземные воды, в том числе активного водообмена	60000 400	4.0 0.3
Ледники	24000	1.7
Озера	280	~0.02
Почвенная влага	80	~0.01
Пары атмосферы	14	~0.001
Речные воды	1.2	~0.0001
Всего	1454000	100.00

нее пригодной для любых видов водопользования, то она должна быть запрещена к употреблению. Это касается физических, химических и биологических свойств воды, а также наличия в ней посторонних жидких, газообразных, твердых и растворенных веществ. Источники химического загрязнения гидросферы принято делить на четыре группы.

1. *Атмосферные воды* вымывают из воздуха оксиды серы и азота, образуя кислотные дожди. Атмосферные и талые воды увлекают с собой массы веществ с городских улиц и промышленных предприятий – мусор, нефтепродукты, кислоты, фенолы и др.

2. *Городские сточные воды* включают преимущественно бытовые стоки, содержащие фекалии, моющие средства, микроорганизмы, в том числе и патогенные.

3. *Сточные воды промышленности.* Наиболее активно потребляют (и загрязняют) воду черная металлургия, химическая, лесохимическая, нефтеперерабатывающая промышленность, энергетика и др.

4. *Стоки пригородов,* содержащие смытые в процессе эрозии частицы почвы, удобрения, пестициды, помет сельскохозяйственных животных и с ним бактерии и многое другое.

Любые загрязнения городской экосистемы так или иначе являются побочным результатом деятельности человека, то есть всей человеческой популяции города. В естественных же экосистемах отходы одних организмов становятся пищей для других и не накапливаются до уровня, вызывающего

неблагоприятные изменения в окружающей среде, они разлагаются и используются повторно (рециклируются).

Демографический взрыв и возрастающий расход сырья и энергии привели к поступлению в городскую экосистему (в том числе в гидросферу) столь больших количеств отходов, что естественные экосистемы уже не способны ассимилировать и рециклировать их. Промышленностью производится все больше материалов, не подвергающихся биоразложению, что усугубляет проблему.

Процессы самоочищения стоков города зависят от многих параметров: температуры воды, ее рН, химического состава и концентраций вредных примесей, затрудняющих протекание процессов самоочищения. Особенно значим в процессах самоочищения *кислородный режим воды.* Расход кислорода на минерализацию органических веществ определяется через биохимическое потребление кислорода (БПК), которое выражается количеством O₂, использованного в биохимических (проходящих при помощи бактерий) процессах окисления органических веществ за определенное время инкубации пробы (мг O₂/сутки). Пользуются показателями БПК₅ (пятисуточного) или БПК_n (полного) биохимического потребления кислорода. При большом сбросе органических веществ в воде уменьшается содержание кислорода, дестабилизируется биоценоз, развивается анаэроб-

Таблица 3

**Снабжение питьевой водой
больших городов Европы
(на конец XX в.)**

Города	Население, млн. чел.	Поверхностные воды, %	Подземные воды, %
Берлин	5.6	58	42
Брюссель	2.3	35	65
Вена	1.7	5	95
Гамбург	3.6	–	100
Глазго	5.2	63	37
Копенгаген	1.0	16	84
Лиссабон	2.1	45	55
Лондон	6.7	86	14
Мюнхен	1.6	–	100
Париж	7.1	60	40
Рим	3.0	89	11
Москва	8.6	98	2

ный (бескислородный) распад органических веществ, что вызывает значительное ухудшение качества воды.

Особую опасность для гидросферы несут химические вещества, загрязняющие как грунтовые воды, так и водоемы. Наиболее распространены соединения тяжелых металлов (свинец, олово, мышьяк, кадмий, ртуть, хром, медь, цинк) и синтетические органические соединения.

Ионы тяжелых металлов, попадая в организм, подавляют активность ряда ферментов, что приводит к крайне тяжелым физиологическим и неврологическим последствиям (например, развитию умственной отсталости при свинцовом отравлении, психических аномалий и врожденных уродств при ртутных отравлениях). Синтетические органические соединения, прежде всего хлорированные углеводороды (они используются для производства пластмасс, синтетических волокон, искусственного каучука, лакокрасочных покрытий, растворителей и пестицидов), попадая в организм, нарушают его функционирование, вызывая, например, развитие рака, появление мутаций и врожденных дефектов у детей. При определенных дозах возможны острое отравление и смерть, поскольку указанные химические соединения способны накапливаться в организмах (биоаккумулироваться) и биоконцентрироваться.

Особую проблему представляет проникновение загрязненных поверхностных стоков в подпочвенные воды, так как поверхностные стоки городов всегда имеют повышенную кислотность. Если под городом располагаются меловые отложения и известняки, проникновение в них закисленных вод неизбежно приводит к возникновению карстов. Пустоты, образующиеся в результате антропогенного карста непосредственно под городом, могут представлять серьезную угрозу для зданий и сооружений, поэтому в городах, где существует реальный риск возникновения карстовых пустот, необходима специальная геологическая служба по прогнозу и предотвращению последствий этого явления.

Важен и сам способ снабжения питьевой водой больших городов Европы (см. табл. 3). С позиций и эпидемиологической, и террористической безопасности снабжение города подземной водой (немецкие города) значи-

Таблица 4
Выбросы в атмосферу электростанцией мощностью 1000 МВт в год

Топливо	Выбросы, т	
	частицы	СО
Уголь	3000	2000
Нефть	1200	700
Природный газ	500	—

тельно безопаснее, чем поверхностной (как в Москве или Риме). В связи с необходимостью обеспечить оптимальное с точки зрения экологии развитие городов, Евросоюзом предложен проект "Улучшение среды обитания человека в городах", где одним из центральных является раздел о нормировании и регулировании расхода воды.

Санитарные правила и нормы охраны вод от загрязнения (1988 г.) включают в себя общие требования к водопользователям городов, особенно крупных, население которых составляет более 1 млн. человек, в части расхода воды и в части сброса сточных вод. Так, химический состав и свойства воды водных объектов питьевого и культурно-бытового назначения должны соответствовать нормам в створах, расположенных не менее чем на 1 км выше ближайшего по течению пункта водопользования. Химический состав и свойства воды в хозяйственных и рыбопродуктивных водоемах должны соответствовать качеству воды на 500 м ниже от места выпуска сточных вод.

Правилами установлены обязательные нормируемые значения для следующих параметров, как-то: плавающие примеси и взвешенные в воде частицы, запах, привкус, окраска, температура, pH, минеральные примеси, биологическая потребность воды в O₂, ПДК² химически вредных веществ и болезнетворных бактерий.

²ПДК – предельно допустимая концентрация вредного химического или биологического вещества в воде, которая (при ежедневном воздействии в течение долгого времени) не вызывает у человека каких-либо патологических изменений (в том числе и у последующих поколений), обнаруживаемых современными методами анализа и диагностики, а также не нарушает так называемого биологического оптимума воды.

Рассмотрим основные источники городских выбросов в атмосферу, через которую загрязнители попадают в гидросферу. От 60% до 96% эмиссии вредных веществ приходится на производства, связанные с выработкой энергии (табл. 4).

По сравнению с энергетикой, глобальное загрязнение города химической промышленностью не столь велико, но локальное воздействие оказывается значительным. Большинство органических полупродуктов и конечная продукция, применяемая или производимая в отраслях химической промышленности, изготавливается из продуктов нефтехимии. При переработке сырой нефти или природного газа на различных стадиях процесса (например, при перегонке, каталитическом крекинге, удалении серы, алкилировании) образуются как газообразные, так и растворенные в воде и сбрасываемые в канализацию отходы. К ним относятся остатки и отходы технологических процессов, не поддающиеся никакой дальнейшей переработке.

Газообразные выбросы установок перегонки и крекинга при переработке нефти, в основном, содержат углеводороды, оксиды углерода, сероводород, аммиак и оксиды азота. Часть веществ, которую удается собрать в газоуловителях перед выходом в атмосферу, сжигается в факелах, в результате чего появляются уже новые продукты сгорания углеводородов – монооксид углерода, диоксид азота и триоксид серы, а при сжигании кислотных продуктов образуется фтороводород.

Из химических производств наибольшее загрязнение дают те, где изготавливаются или используются лаки и краски. Поскольку лаки и краски часто изготавливаются на основе алкидных и иных полимерных материалов, а также нитролаков, то обычно они содержат большой процент растворителя. Выбросы органических веществ в производствах такого типа составляют 350 тыс. т/год. Остальные производства химической промышленности в целом выделяют до 170 тыс. т/год.

Существенной особенностью крупных городов с населением более 1 млн. человек является возрастание дифференциации концентраций загрязнений в различных районах. Наряду с периферийными районами, где уровни концентрации загрязнений невелики,

появляются районы, в которых эти значения резко увеличиваются: зоны крупных промышленных предприятий и, в особенности, центральные районы. В последних, несмотря на отсутствие в них крупных промышленных предприятий, как правило наблюдается повышенное загрязнение атмосферы. Являясь результатом интенсивного движения автотранспорта, загрязнение в центральных районах нарастает вследствие того, что температура атмосферного воздуха здесь обычно на несколько градусов выше, чем в периферийных. Разница температур приводит к появлению над центрами городов восходящих воздушных потоков, засасывающих загрязненный воздух из промышленных районов, расположенных на ближней периферии.

Стационарные и мобильные источники загрязнения по-разному влияют на состояние городской атмосферы. Как правило, с увеличением размера города доля мобильных источников загрязнения (в основном, автотранспорта) в общем загрязнении атмосферы возрастает, достигая даже 70%³. Большая часть атмосферных загрязнений в конце концов попадает на почву и воды города, распределяясь в зависимости от розы ветров, количества выпавших осадков и других факторов.

Проблема снабжения питьевой и хозяйственной водой больших городов, равно как и нейтрализации их водных стоков, настолько остра, что текущий 2006 г. был объявлен ВОЗ Годом Воды⁴. В марте этого года в Москве прошел Всемирный водный форум, основная цель которого была найти выход из мирового водного кризиса. Однако детализации состава химических загрязнителей и последствий этого загрязнения уделено было явно недостаточное внимание. Вопрос о том, в каком состоянии находятся и будут находиться в ближайшем будущем воды больших городов, остается открытым.

³ Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами. М.: РУДН, 2006.

⁴ Природно-ресурсные ведомости. 2006, № 5, март // Н А "Природные ресурсы".