

*Комп.
Масбул*

ВСТ

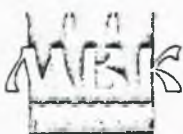
ВОДОСНАБЖЕНИЕ
И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

HAUS TECHNIK

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ



Рублевская плотина



107005, Москва,
Плетешковский пер., 2

Тел.: (095) 261 6720
Факс: (095) 265 2201
Факс-спутник: (501) 940 2310

С. В. ХРАМЕНКОВ, генеральный директор МГП «Мосводоканал»; Н. И. АЛЕКСЕЕВСКИЙ, зав. кафедрой; В. А. ЖУК, доцент; М. А. МИЩЕНКО, науч. сотр.; Н. Л. ФРОЛОВА, доцент (МГУ)

Моделирование качества воды в источнике водоснабжения

Оперативное управление процессами обеспечения надежности систем водоснабжения нередко сопряжено с проблемами выбора управленческих решений в условиях быстрого и глубокого изменения факторов, влияющих на поступление к водопроводным станциям воды в заданном объеме и оптимального качества. Для объективного и оперативного реагирования на негативные изменения этих факторов недостаточно данных мониторинговых наблюдений. Большое значение имеет возможность быстрого анализа потенциальных сценариев развития кризисных ситуаций и выбора наиболее подходящего (по экономическим признакам) варианта управленческих решений. Такую возможность предоставляют методы математического моделирования гидрологических характеристик водоемочника.

Идея создания компьютерного программного комплекса, включающего набор информационных и методических средств решения подобных задач применительно к условиям Москворецкого водоемочника, возникла в 1992–1993 гг. и реализовывалась в МГП «Мосводоканал» при участии специалистов Мосводоканалниипроекта, МГУ, ВЦ РАН, АО «Экоросс».

При создании соответствующих программных средств учитывалось, что качество воды в Москворецком водоемочнике является результатом изменения вещественных и энергетических потоков вследствие сочетания естественных факторов и антропогенных нагрузок в бассейне р. Москвы выше водохранилищ, внутриводоемных процессов, а также условий формирования стока воды, наносов, растворенных веществ в нижних бьефах гидроузлов. Интегральные последствия влияния первых двух причин прослеживают-

ся в характере изменения потребительских качеств воды ниже водохранилищ, когда нормативы, соответствующие объектам питьевого назначения, не превышаются. Исключения составляют периоды цветения водоемов, отвечающие особым условиям изменения состава фитопланктона [1], а также годы с повышенной цветностью воды, когда в водохранилища поступает избыточное количество органических веществ с поверхности речных бассейнов.

По длине незарегулированной части водоемочника негативные изменения качества воды зависят в основном от поступления в притоки р. Москвы сельскохозяйственных стоков. В сочетании с другими причинами они обуславливают возникновение случайных или периодических кризисных явлений изменения качества воды по длине водоемочника. Для некоторых характеристик качества (аммиак, нефтепродукты, запах) превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) наблюдается в течение ограниченного времени, для других (цветность, колииндекс) – значительной части года. Эти пять показателей качества воды Москворецкого водоемочника являются основными факторами снижения надежности работы Рублевской водопроводной станции (РВС) при условии достаточности объема водных ресурсов.

Анализ многолетних данных показал, что длительные негативные изменения характеристик качества воды у РВС связаны в основном с изменением в отдельные годы условий формирования вещественных потоков выше водохранилищ. Барьерная функция водохранилищ эффективна для «гашения» их флуктуаций в годы с относительно небольшими отклонениями геостока

от региональных норм. В противоположном случае она оказывается недостаточной, и в нижние бьефы гидроузлов поступает вода пониженного качества. Сток с незарегулированной части бассейна снижает начальные концентрации загрязняющих веществ. Однако решающее значение для доведения качества воды до уровня нормативов, соответствующих объектам питьевого назначения, имеет изменение режима водоподготовки на РВС. Существуют ситуации, когда технологические возможности систем водоподготовки не обеспечивают необходимый уровень снижения концентраций загрязняющих веществ или связаны с резким увеличением издержек на водоподготовку.

Обобщение данных о негативных изменениях качества воды в районе РВС показало, что в основном они возникают вследствие поступления животноводческих стоков в сеть притоков р. Москвы в периоды весеннего половодья и осенних паводков. В незарегулированной части ее бассейна находится более 300 животноводческих комплексов, ферм, птицефабрик. Они являются реальными и потенциальными источниками загрязнений, влияющих на органолептические характеристики и содержание в воде аммиака. Вероятность и мера их воздействия на качество воды у РВС зависит от многих факторов. Главными из них являются: удаление S источников загрязнений от РВС; водоносность Q притоков р. Москвы, в которые поступают животноводческие стоки; число n источников потенциальных загрязнений и состояние навозохранилищ. Последний фактор косвенно оценивается по числу m аварийных ситуаций, зафиксированных в прошлые годы в бассейне 17 основных притоков j , питающих водоемочник. Логично объединить указанные

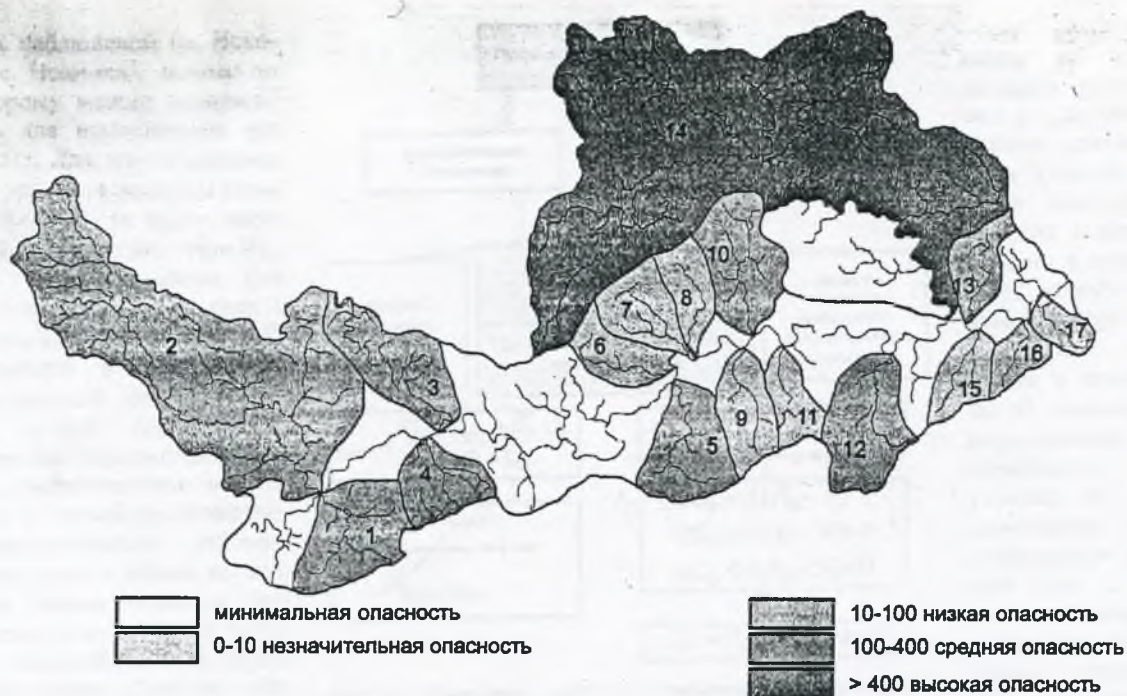


Рис. 1. Схема потенциальной опасности негативного влияния частных водосборов на изменение качества воды р. Москвы в районе Рублевского водозабора
 бассейны рек: 1 – Ведомки; 2 – Исконы; 3 – Рузы; 4 – Елицы; 5 – Сетуни; 6 – Жуковки; 7 – Молодельни; 8 – Дубешни; 9 – Островки; 10 – Сторожки; 11 – Нахавни; 12 – Вяземки; 13 – Липки; 14 – Истры; 15 – Медведицы; 16 – Саминки; 17 – Чаченки

характеристики в интегральный показатель

$$d_j = (Q_j n_j m_j) / S_j$$

Различные диапазоны изменения d соответствуют высокой (> 400), средней (100–400), низкой (10–100) и незначительной (0–10) мерам воздействия частных водосборных территорий на качество воды у РВС. Максимальное негативное влияние на надежность Москворецкого водосточника по качеству воды (рис. 1) оказывают сельскохозяйственные стоки, сбрасываемые в притоки р. Истры. Значительную опасность для водоснабжения г. Москвы представляют источники загрязнений в бассейнах рек Исконы, Рузы, Ведомки, Елицы, Сетуни, Вяземки. Их роль последовательно снижается при возникновении кризисных ситуаций в бассейнах рек Сторожки и Липки, Жуковки, Молодельни, Дубешни, Островки, Нахавни, Медведицы, Саминки и Чаченки. Устья этих рек расположены на относительно малом удалении от РВС, но их водоносность несопоставима мала по сравнению с водоносностью р. Москвы. Некоторым притокам водосточника соответствуют значения $d_j = 0$. Это не означает, что они не способны оказывать влияние на потребительские качества Москво-

рецкого водосточника. Условие $d_j = 0$ отражает лишь факт, что за период обобщения информации $m_j = 0$. Можно считать, что сельскохозяйственные стоки, поступающие в устья этих притоков, представляют минимальную опасность для эффективной и экономичной работы РВС.

В условиях неопределенности возникновения кризисных ситуаций по одному из показателей качества воды в частных речных бассейнах единственной возможностью для выбора вариантов управленческих решений при обеспечении надежности систем водоснабжения Москвы является использование данных, получаемых с сети мониторинга, и результатов математического моделирования процессов перемещения речных вод и загрязняющих примесей. В последнем случае предполагается, что расчетная область программного комплекса охватывает некоторое число водосборов, образующих незарегулированную часть бассейна водосточника. Часть из них схематизируется точечным источником в зоне впадения притока в р. Москву, другие (реки Москва, Руза, Истра) образуют соподчиненные элементы общей линейной схемы водосточника. По его длине, а

также по длине основных притоков (от нижнего бьефа водохранилищ до устьевых створов) задаются морфометрические характеристики русла (ширина, площадь поперечного сечения) в виде функций уровня воды. Они формируют начальные условия для системы расчетных уравнений. В качестве граничных условий используются данные о сбросах воды в нижние бьефы водохранилищ, соответствующих характеристиках качества воды. Они дополняются информацией о поступлении воды и загрязняющих примесей в устьевые створы 17 притоков р. Москвы.

Задание граничных условий для боковых притоков является достаточно сложной и самостоятельной задачей, поскольку сеть гидрологического мониторинга крайне разрежена. Для моделирования бокового притока используются два метода [2]. Первый из них основан на принципе гидрологической аналогии. Ландшафтно-гидрологическое районирование территории обнаруживает наличие трех характерных районов с близкими условиями формирования стока. Один из них охватывает верховья р. Москвы: бассейн рек Исконы, Рузы и верховья р. Истры. В его пределах имеется пункт стационарных гидрологиче-

ских наблюдений (р. Искона, с. Новинки), данные по которому можно использовать для неизученных рек района. Для этого ежедневные уровни и расходы воды, измеряемые на посту, переводятся в модули стока M_{ql} , где l – номер района. Для любой неизученной реки с площадью водосбора F_j , входящей в этот район, ежедневный расход воды $Q_{lj} \sim M_{ql}F_j$. Аналогичным образом определяются Q_{lj} рек, расположенных во втором и третьем ландшафтно-гидрологическом районах. Опорными постами во втором районе являются гидростворы на р. Малой Истре (с. Киселево) и на р. Истре (Павловская Слобода). Наблюдения у Звенигорода (р. Москва) и на р. Медвенке (Сареево) используются для оценки Q_{lj} рек, входящих в третий район.

Для более тонкого учета физических механизмов формирования стока в пределах незарегулированной части Москворецкого водосточника адаптирована модель Гидрометцентра [3]. На основе проведения численных экспериментов удалось оптимизировать многочисленные параметры модели. Сравнение расчетных и фактических расходов воды (по обоим способам определения боковой приточности) обнаружило их хорошее совпадение. Выбор конкретного метода задания граничных условий зависит от наличия гидрометеорологической информации. В этом смысле более предпочтителен метод гидрологических аналогий. Однако он не способен учитывать пространственную неоднородность синоптических обстановок в различных зонах конкретного ландшафтно-гидрологического района. В ряде случаев это может привести к появлению существенных погрешностей расчета водоносности отдельных притоков.

Задание граничных условий по лимитирующим характеристикам качества воды осуществляется с учетом данных, получаемых с существующей ведомственной сети мониторинга. Для неизученных водотоков используются фоновые данные о содержании в воде органических веществ, нефтепродуктов и

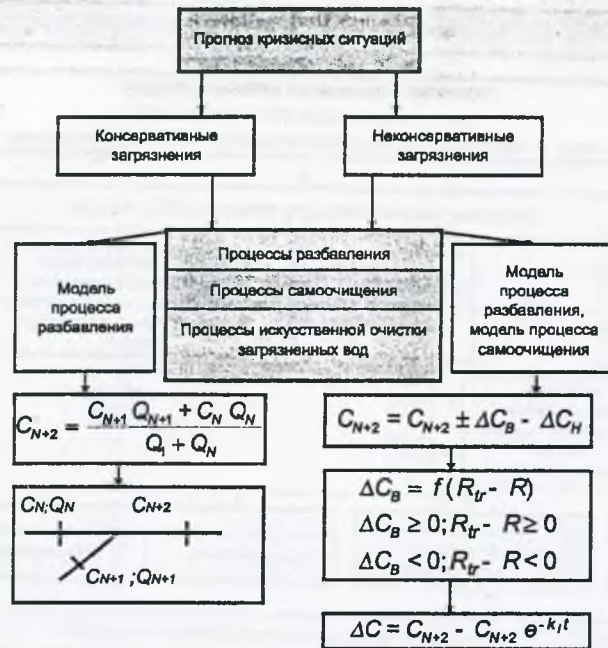


Рис. 2. Принципы прогноза изменений концентрации загрязняющих веществ под влиянием процессов разбавления и самоочищения

других загрязнений, оценка которых базируется на неперiodических экспедиционных обследованиях малых рек – притоков р. Москвы.

Продольное изменение стока воды моделируется на основе численного решения системы дифференциальных уравнений Сен-Венана или их упрощенного варианта – уравнений кинематической волны. В их состав входят уравнение движения неустановившегося потока и неоднородное уравнение баланса расходов воды. Неоднородность последнего уравнения связана с изменением водоносности рек Москвы, Рузы и Истры вследствие боковой приточности. Аппроксимация дифференциальных уравнений конечно-разностными отношениями, использование метода конечных элементов и численное решение исходной системы уравнений совместно с начальными и граничными условиями позволяют получить расчетные гидрографы стока в заданных створах по длине Москворецкого водосточника.

Одновременно решается задача определения перемещения загрязняющих веществ вдоль руслового тракта. Для этого привлекаются уравнение их движения совместно с водным потоком и неоднородное уравнение баланса массы примеси. Неоднородность этого уравнения обусловлена возможностью поступ-

ления загрязняющих веществ из внутренних и внешних источников. Первые из них связаны со случайным кризисным изменением качества воды вследствие поступления загрязняющих веществ непосредственно в тракт водосточника, вторые – с постоянным или периодическим поступлением загрязненных стоков в притоки р. Москвы. В зависимости от вида загрязняющих веществ (консервативные, неконсервативные) их концентрации изменяются под влиянием разбавления и самоочищения (рис. 2). Разбавление консервативных примесей осуществляется в соответствии с уравнением смешения. Концентрация неконсервативных загрязняющих веществ также зависит от процессов разбавления. Од-

новременно она является сложной функцией физических, физико-химических и биохимических процессов, составляющих суть процесса самоочищения рек. При совместном воздействии этих процессов начальная концентрация примеси C_N трансформируется в C_{N+2} , конечное значение которой изменяется с учетом поправок ΔC_B и ΔC_H . Поправка ΔC_B связана с возможностью перепада части взвешенных частиц из транзитного потока наносов в состав русловых отложений. Поскольку значительный процент содержания загрязняющих веществ в воде приходится на их взвешенную (адсорбированную) форму, то аккумуляция взвеси приводит к уменьшению C_{N+2} . Противоположный процесс возможен при взмучивании ранее накопленных русловых отложений. Направленность массообмена между транзитным потоком взвешенных наносов и русловыми отложениями зависит от соотношения фактического расхода взвеси R и транспортирующей способности потока $R_{тр}$. При $R_{тр} - R < 0$ преобладает накопление взвеси в руслах рек и формирование геохимических аномалий содержания некоторых химических соединений в составе русловых отложений. Наоборот, они устраняются при противоположном соотношении между $R_{тр}$ и R . При условии $R_{тр} = R$ массообмен в сис-



Рис. 3. Блок-схема выбора вариантов управленческих решений для обеспечения надежного водоснабжения столицы из Москворецкого водоисточника

теме «поток – русловые отложения» сбалансирован и $\Delta C_N = 0$.

Снижение начальных концентраций примеси за счет физико-химических и биохимических процессов ΔC_{II} учитывается на основе традиционных подходов. Они ставят эту величину в зависимости от вида загрязняющего вещества, соответствующего значения коэффициента неконсервативности k_i и времени реализации процесса самоочищения (рис. 2). В зависимости от сезона года и типа загрязняющих веществ распад химических веществ играет важную или подчиненную роль в сравнении с процессами изменения C_N под влиянием разбавления.

Проверка эффективности указанных физических схем применительно к ситуациям кризисного изменения качества воды в пределах Москворецкого водоисточника обнаружила их достаточную обоснованность. Результаты расчетов хорошо согласуются с наблюдениями на сети ведомственного мониторинга. Погрешности расчета связаны с отсутствием непрерывных измерений характеристик качества воды, что затрудняет синхронизацию расчетных и фактических характеристик. Немаловажное значение имеет и слабая изученность процесса химического и биологического преобразования загрязняющих примесей, что затрудняет учет временной и пространственной изменчивости ко-

эффициентов неконсервативности. Тем не менее уже на современном этапе разработки программного комплекса удастся получить ценную информацию, позволяющую оперативно выбирать варианты управленческих решений (рис. 3). При их анализе важное значение имеет возможность оперативного определения степени изменения начальных характеристик качества воды вдоль руслового тракта, если известны географический адрес зоны возникновения кризисной ситуации, данные с сети мониторинга качества воды, времени добегания загрязненных вод до водозаборных сооружений и продолжительности негативного изменения качества воды в районе их расположения. Учет этой информации создает предпосылки для экономичного регулирования режима водоподготовки, повышения надежности систем водоснабжения при минимизации функции ущерба.

Нет принципиальных проблем использования созданного комплекса при решении и других тематических задач, возникающих в практике обеспечения г. Москвы питьевой водой. В частности (рис. 3), возникает реальная основа для объективного решения вопроса о величине разбавляющих попусков из системы Москворецких водохранилищ с учетом экономической целесообразности мобилизации для этой цели

местных и привлеченных водных ресурсов.

Особое значение этот комплекс может иметь для реализации решений правительства Москвы о введении в строй автоматизированных станций контроля за качеством воды и создании программных средств, основанных на получаемой информации, для обеспечения гидроэкологической безопасности столицы и прилегающих зон в бассейне р. Москвы. Расширенное использование математического моделирования процессов изменения качества воды – лишь часть общей программы мер, направленных на повышение надежности систем водоснабжения города. Ее основным звеном являются мероприятия, связанные с предупреждением негативных изменений состояния поверхностных водоисточников Москвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эдельштейн К. К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. – М.: ГЕОС, 1998.
2. Особенности формирования и расчета притока воды к тракту москворецкого водоисточника / Н. И. Алексеевский, В. А. Жук, В. Ю. Иванов, Н. Л. Фролова // Водные ресурсы. 1988. Т. 25.
3. Корень В. И. Математические модели в прогнозах речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1991.