УЧЕТ ИЗМЕНЧИВОСТИ СТОКА И КАЧЕСТВА ВОДЫ НИЖЕ МОСКВОРЕЦКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СТОЛИЦЫ

Алексеевский Н.И., Жук В.А., Фролова Н.Л.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Водоснабжение Москвы и прилегающих территорий осуществляется с помощью водохозяйственной системы, объединяющей водные ресурсы реки Москвы и Верхней Волги. Она включает Верхневолжскую систему (ВВС), Москворецкую систему (МВС) и Вазузскую гидротехническую систему (ВГС). Площадь водосбора Москворецко-Вазузской водной системы составляет около 15 тыс. км^2, Волжской - 40 тыс. км^2. Надежность водообеспечения города, в значительной степени, определяется возможностью гарантированной водоотдачи Волжского и Москворецкого источников водоснабжения. Эта объединенная система должна обеспечивать водоотдачу 95%-ой обеспеченности для водоснабжения г. Москвы и обводнения рек из поверхностного стока - 128 м^3/с, в т.ч. для водоснабжения – 83 м^3/с и на обводнение рек – 45м^3 /с. В настоящее время поверхностные источники обеспечивают до 90% хозяйственно-бытовых и промышленных потребностей в воде г.Москвы и лесопарковой зоны и только около 10% потребностей покрывается за счет артезианских вод. В самом городе это соотношение еще меньше. Только 5% доставляемой потребителям воды поступает из артезианских скважин, причем их подавляющая часть идет на промышленные нужды. В пригородных зонах, наоборот, подземные воды обеспечивают более половины общих потребностей, причем такое же соотношение сохраняется и в хозяйственно-бытовом и промышленном водопотреблении.

В нашем докладе рассмотрены результаты исследований по оценке состояния и разработке средств повышения эффективности функционирования Москворецкого водоисточника, испытывающего громадную антропогенную нагрузку в нижних бьефах водохранилищ.

Сток рек МВС зарегулирован системой водохранилищ на р. Москве и ее притоках (Можайским, Рузским, Озернинским и Истринским), обеспечивающих равномерную подачу воды к водопроводным станциям. Вазузская гидротехническая система включает Вазузское водохранилище, из которого вода поднимается в Яузское, а оттуда — в Верхнерузское водохранилище на р. Рузе и далее поступает в МВС. Водохранилища этой системы работают таким образом, чтобы вместе с москворецкими водохранилищами и со стоком с незарегулируемой части бассейна р. Москвы обеспечивать круглый год в створе Рублевского гидроузла гарантированный расход воды.

На базе этой системы действуют Рублевская, Западная, Ново-Западная и Юго-Западная водопроводные станции. При небольших санитарных попусках москворецкой воды в нижний бьеф Рублевского гидроузла (менее 5 м^3/с) первым подъемом Рублевской водопроводной станции возможен забор и волжской воды поступающей из канала им. Москвы в нижний бьеф Рублевской плотины.

Система москворецких водохранилищ контролирует более 80% среднемноголетнего притока к ним, который составляет около 920 млн.м3. Боковой приток на незарегулированном участке р. Москвы до створа Рублевской плотины оценивается величиной порядка 580 млн.м3. Столь высокая степень регулирования стока в верховьях р. Москвы позволяет довести гарантированную отдачу в створе Рублевского гидроузла до 29 м^3/с при обеспеченности по числу бесперебойных лет 97% и до 32 м^3/с - при обеспеченности 95%. Введение в строй Вазузской гидротехнической системы, из которой вода подается в МВС, позволило увеличить гарантированные водные ресурсы в створе Рублево на 17 м^3/с при 97% обеспеченности и на 19 м^3/с при обеспеченности 95%. Таким образом, суммарная гарантированная водоотдача Москворецкой и Вазузской гидротехнических систем составляет соответственно 46 и 51 м ^{3}/с. Однако в крайне маловодные годы и периоды практически полностью исчерпывается возможная водоотдача всей системы, и поэтому для успешного оперативного управления работой водохранилищ необходимо учитывать прогноз боковой приточности в речную сеть с незарегулированной части водосбора.

Вторым важным вопросом для решения задачи устойчивого обеспечения города питьевой водой является качество поступающих к водозаборам речных вод. В современных условиях качество воды Москворецкого водоисточника определяется сочетанием природных особенностей и антропогенных нагрузок в бассейнах рек выше водохранилищ, процессов внутри водоемов, а также спецификой формирования стока воды и растворенных веществ в нижних бьефах гидроузлов. К настоящему времени, в результате существенных изменений условий водопользования вызванных урбанизацией территории, массовым дачным и коттеджным строительством, неорганизованной деятельностью сельскохозяйственного производства возникает потребность оценки экологической безопасности водных объектов, используемых для хозяйственно-питьевых нужд. К ним относится р. Москва, ее притоки и водохранилища МВС. Внутриводоемные процессы протекают достаточно медленно и, кроме того, интегральная оценка качества трансформированных водохранилищами речных вод может быть инструментально определена при сбросах воды в нижний бьеф. Принципиально иные условия формирования качества воды складываются на неконтролируемой водохранилищами части бассейна реки до п. Рублево с площадью водосбора около 3270 км^2, что составляет более 43% общей (7530 км^2) водосборной площади водоисточника. Здесь формируется более 35% общего притока к водозаборам, основная часть наносов

и растворенных веществ. Река Москва и ее притоки, на рассматриваемом участке, текут по густо заселенной, хорошо освоенной в хозяйственном отношении территории. Рядом с руслами рек, или непосредственно в водоохранных зонах, расположены населенные пункты, объекты рекреации, промышленные предприятия, объекты сельскохозяйственного производства. Многие из них являются потенциальными загрязнителями речных вод. Здесь не редки аварийные выбросы загрязняющих веществ на водосбор. Время достижения ими водозаборов часто измеряется несколькими сутками. Эти вещества частично или полностью разбавляет боковой приток р. Москва. Поэтому решение проблем водоснабжения столицы связано с учетом изменчивости стока и качества воды ниже москворецких водохранилищ. Данных мониторинговых наблюдений недостаточно для объективного и оперативного реагирования на негативные изменения количества и качества воды в русловой сети. Адекватная реакция по снижению ущербов возможна лишь при наличии эффективно действующего программного комплекса для оперативного решения возникающих водохозяйственных и экологических задач, обеспечивающих выполнение требований по качеству, количеству и своевременности подачи воды водопользователям.

Исследование процессов формирования стока и качества воды в незарегулированной части Москворецкого водоисточника - проблема, требующая комплексного подхода и поэтапного решения целого ряда вопросов, связанных с учетом особенностей формирования стока в разных частях бассейна, с организацией попусков водохранилищ, трансформации стока в речной сети, описания процессов поступления загрязнений в речную сеть, организации разбавления загрязнений - с выбором приоритетного, для этой цели, источника воды. По-видимому, наиболее эффективным способом решения перечисленных проблем является создание совокупности математических моделей, объединенных в единый программный комплекс.

Попытка решения отдельных из перечисленных выше задач предпринималась нами ранее[1,2].

Наиболее сложные проблемы связаны с определением бокового притока воды в русловую сеть и учет поступления рассредоточенных загрязнений и их трансформация на водосборе. Для описания процессов формирования стока на незарегулированной территории бассейна в работе [3] использовалась концептуальная модель тало - дождевого стока с сосредоточенными параметрами, разработанная В.И.Корнем [4]. Опыт использования модели свидетельствует, что с ее помощью только частично можно решать поставленные задачи. В частности, вполне успешно моделируется суммарный гидрограф стока в замыкающем створе, у водозаборов.

Однако, в связи с тем что, основным средством борьбы с поступившими в водотоки загрязнителями остается их разбавление, возникает необходимость определения расходов воды для любых участков речной сети в любой момент времени. В полной мере такая задача может быть решена только с помощью физико - математической модели с распределенными параметрами.

Такие модели позволяют учитывать изменчивость процессов формирующих сток в разных частях бассейна, рассчитывать пространственную картину динамики загрязнения территории на различных уровнях (поверхность, зона аэрации, грунтовые воды, речной сток), вторичное загрязнение, трансформацию воды и загрязняющих веществ в речной сети и давать пространственно-временной прогноз развития гидроэкологической ситуации на рассматриваемой территории, в том числе при чрезвычайных ситуациях. Однако этот класс моделей имеет некоторые недостатки, связанные в первую очередь с жесткими требованиями на полноту и качество входной информации и трудностями при адаптации моделей для конкретных речных бассейнов и при их оперативном использовании.

Поэтому, в последнее десятилетие формируется класс упрощенных физически обоснованных моделей, где в отличие от детальных уравнений в частных производных для описания процессов гидрологического цикла используются упрощенные обыкновенные дифференциальные уравнения. Такие модели накладывает менее жесткие требования к полноте и точности входной информации, что существенно расширяют их прикладные аспекты. Необходимость использования больших объемов входной и расчетной информации различного рода в моделях с распределенными параметрами, вызвали в свою очередь разработку автоматизированных систем обработки и управления пространственно распределенной информацией.

К таким программным комплексам относится разрабатываемый Мотовиловым Ю.Г. с 1993 г. и постоянно совершенствующийся информационно-моделирующий комплекс ECOMAG [5,6]. Он включает в себя математическую модель, географическую информационную систему(ГИС), базы данных о характеристиках территории и управляющую оболочку. Используемая в комплексе модель - версия пространственно-распределенной модели гидрологического цикла, формирования стока, переноса и трансформации загрязняющих веществ в речном бассейне.

В нашем исследовании предпринята попытка использования данного комплекса для решения задач повышения эффективности и надежности обеспечения города водой из Москворецкого водоисточника.

Базовой основой комплекса ECOMAG является гидрологическая подмодель. Характеристики, рассчитываемые в этом блоке модели, в значительной степени определяют характер процессов в других блоках. Гидрологический блок модели описывает основные процессы гидрологического цикла суши: инфильтрацию, испарение, термический и водный режим почв, снеготаяние и распределение жидких осадков в бассейне, формирование поверхностного, внутрипочвенного, грунтового и речного стока. На основе электронных карт

региона с помощью ГИС-технологии проводится модельная пространственная схематизация рассматриваемой части речного бассейна. При этом вся территория бассейна покрывается регулярной или нерегулярной сеткой с необходимым для расчетов разрешением (в нашем случае – 90 х 90м). Составляются базы данных включающие информацию о характеристиках почв, землепользования, растительности, потенциальных источниках загрязняющих веществ, а также гидрометеорологические данные и информацию об антропогенной нагрузке на территорию. Управляющая оболочка комплекса позволяет связать информацию ГИС для рассматриваемой территории с информацией баз данных, сконфигурировать необходимый вариант расчета, запустить модель на счет и отобразить результаты расчетов на экране компьютера.

ECOMAG базируется на принципах ландшафтных единиц, называемых “элементы”. Их структура позволяет отразить пространственные неоднородности рельефа, почв, растительности, землепользования, точечных и распределенных диффузных источников загрязнения.

Моделирование гидрологических процессов на каждом ландшафтном элементе выполняется для четырех уровней: для зоны формирования поверхностного стока, для поверхностного слоя почвы(внутрипочвенный сток), подстилающего его более глубокого слоя , емкости подземных вод. В холодный период добавляется емкость снежного покрова. Схема заканчивается рассмотрением процессов трансформации склонового и грунтового стока на водосборе и в русловой сети. Исходными данными при моделировании сети водотоков являются цифровая модель рельефа водосбора(грид-поверхность) и реальная речная сеть, как электронный слой векторной ГИС. Данная ЦМР получена по результатам глобальной радарной топографической съемки (Shuttle radar topographic mission (SRTM)), которая была проведена США. Результаты съемки лежат на сайте ***ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version1/***. Цифровая модель рельефа выступает как средство, используемое ГИС для описания пространственно-распределенных данных на изучаемой территории. Она является хорошей альтернативой полевых исследований и ручной обработки топографических карт. Такие особенности как уклон, густота речной сети, длина русла, площадь водосбора и др. могут быть надежно определены даже для больших водосборов. Характерной чертой гидрографической сети бассейна реки Москвы является большое количество малых рек. Территория незарегулированной части бассейна, имеет в целом выровненный рельеф, представляющий собой чередование низменных равнин и возвышенностей с амплитудой высот 100-300 м над уровнем моря. Большая часть территории занята мелкохолмистыми равнинами. Склоны долин рек бассейна изрезаны оврагами и балками. Реки характеризуются типичными для равнины чертами: относительной симметричностью поперечного профиля долин с широкими поймами в среднем и нижнем течении.

По результатам съемки SRTM выбрано 12 квадратов, покрывающих исследуемую территорию. Их растры преобразованы в формат GRID и затем объединены в единый грид рельефа. Далее, с помощью модуля Ecomag в программе ArcView моделируется речная сеть и по реальной речной сети производится корректировка ее модельного варианта, с последующим пересчетом гридов направления и накопления стоков элементарных водосборов. На рис. 1 изображены фактическая речная сеть (синий цвет) и смоделированная (красный) по цифровой модели рельефа.

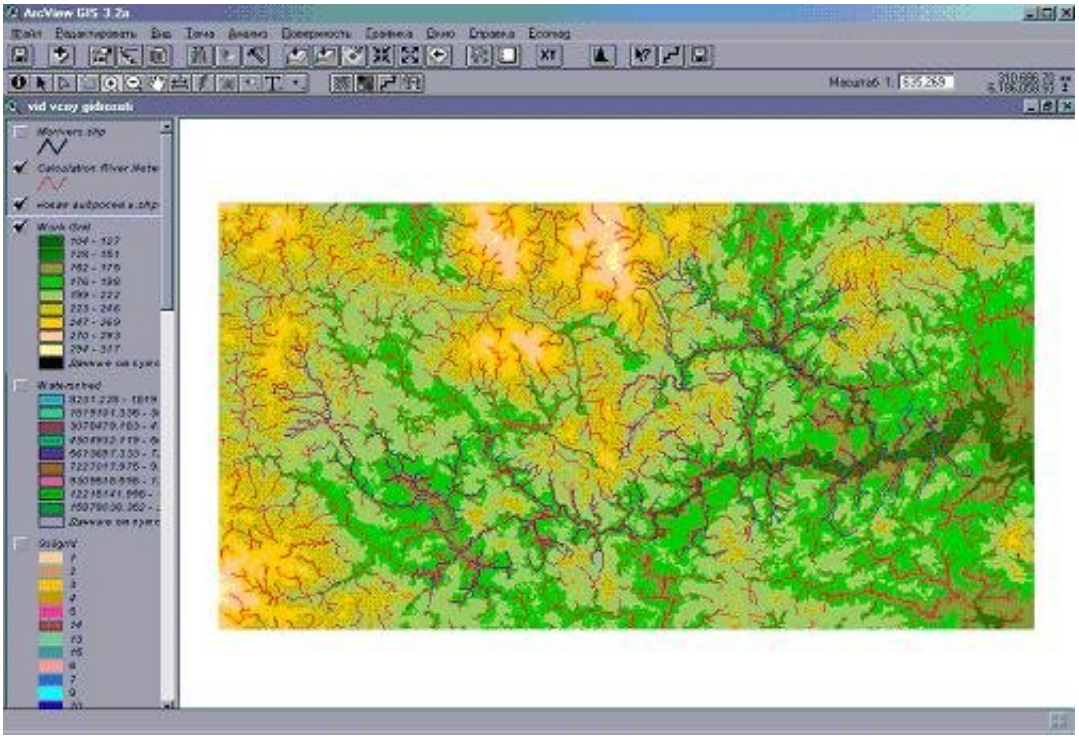

Рис.1. Реальная и смоделированная речная сеть незарегулированной части р.Москвы выше п. Рублево

Следующий этап моделирования водосборной площади – выделение элементарных водосборов. Эта процедура, с заданной заранее степенью детализации территории, выполняется с помощью расчетного модуля ECOMAC и инструмента Make Watershed (рис.2).

При этом учитываются гриды направления и накопления стоков на элементах рельефа.

Исходными данными для ИМК ECOMAC являются также данные о типах почв и видах использования земель на рассматриваемой территории. Эти данные получены нами с тематических карт, путем их оцифровки и растеризации по квадратной сетке с разрешением 90м х 90м и с присвоением каждой ячейке сетки соответствующих номеров типов почв и ландшафтов. Они имеют такой же размер ячеек, как и у грида рельефа. С помощью программного модуля данные о типах почв и видах использования земель передаются каждому элементарному водосбору.

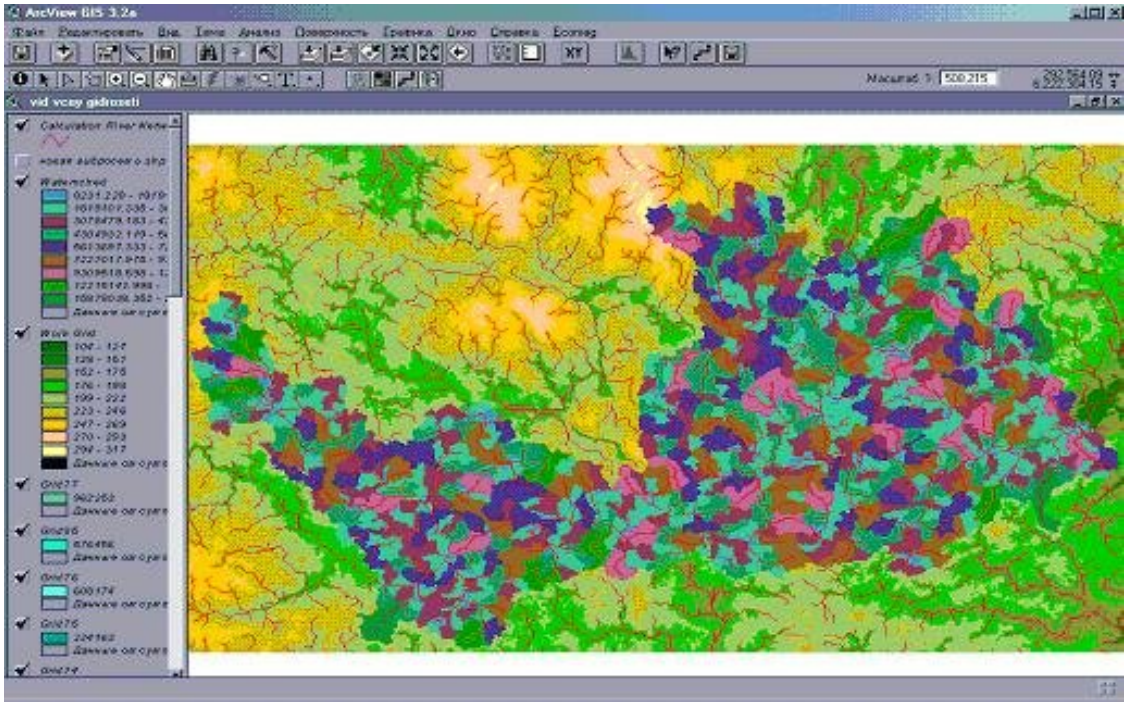

Рис.2. Выделенные элементарные водосборы для каждого сегмента модельной речной сети

После этого информация о характеристиках склоновых элементов и структуре речной сети передается в ИМК ECOMAG, где из баз данных каждому элементу назначаются соответствующие модельные параметры почв, растительности и т.д. В частности, в базе данных “Почвы”, для разных типов почв приводятся характеристики, определяющие агрогидрологические характеристики(механический состав, объемная плотность, пористость, наименьшая полевая влагоемкость, влажность завядания, коэффициент фильтрации, гумус) и гидрохимические характеристики, определяющие интенсивность распада и сорбции поллютантов в почве: параметр сорбции, геохимический потенциал и коэффициент деградации.

В базу данных «Землепользование», занесены параметры модели ECOMAG, меняющиеся в зависимости от типа землепользования (пашня, целина, лес и т.п.). Рассматриваемая территория водосбора интенсивно используется в процессе сельскохозяйственного производства. Значительные площади (до 35%) занимают пашни с крутизной склонов 1-3°. Площади лугов колеблются в разных частных водосборах от 6 до 20%. Залуженность продолжает расти. Площади лесов в бассейне р. Москвы заметно сократились в последнее десятилетие в связи с развернувшимся дачным строительством и увеличением доли вырубок. Интенсивное использование прилегающей к реке территорий в рекреационных целях и для сельскохозяйственного производства оказывают существенное негативное влияние на качество воды в реке.

В результате, в виде исходных данных программный комплекс формирует 5 файлов, в которых описывается структура речной сети, площади элементарных водосборов и данные по каждому водосбору о типах почв и видах использовании земель.

Для моделирования стока кроме информации о факторах подстилающей поверхности, необходимо сформировать базы данных для гидрометеорологических элементов - осадков, температур, относительной влажности воздуха, уровней и расходов воды. Метеорологические данные служат для расчетов по модели, а гидрологические – как граничные условия, для калибровки параметров модели и для проверки результатов моделирования.

Данные метеорологических наблюдений в процессе расчета по модели автоматически интерполируются и распределяются по элементарным водосборам с учетом высотного градиента. При этом, для каждого водосбора выбирается 3-5 ближайших метеостанций, и значения метеоэлемента для него рассчитываются как средневзвешенное из значений на выбранных метеостанциях. В качестве весовых коэффициентов при этом, берется обратная величина квадрата расстояния от центра элементарного водосбора до каждой метеостанции. Температура и дефицит влажности интерполируются по одному правилу, а для осадков вводится другой высотный градиент. Таким образом, для каждого элементарного водосбора получают временные ряды метеорологических характеристик за расчетный период. Средства управляющей оболочки позволяют строить карты-схемы распределения метеорологических характеристик за каждые сутки. Выполняя подобные расчеты при различных наборах метеостанций можно оценить степень влияния каждой станции на результаты моделирования. Наличие и репрезентативность станций наблюдений остаются основной проблемой при моделировании стока. Возникают большие проблемы и при формировании баз данных метеорологических наблюдений из-за различных по времени и непродолжительных периодов наблюдений, из-за пропусков, недоступности данных за последние годы. На исследуемой территории наиболее полная информация о метеоэлементах за весь период наблюдений на этой территории имеется по меостанциям Можайск и Н.Иерусалим. В меньшем объеме имеются данные по пунктам - Звенигород, Павловская Слобода, Б.Сареево, Истринский опорный пункт ВНИИЛМ. За пределами рассматриваемой части бассейна, но на небольшом удалении, расположены еще две станции с продолжительными периодами наблюдений - м/с Клин и Волоколамск. По обширной программе выполняются наблюдения в обсерватории Московского университета. В последние годы ведутся наблюдения за осадками на гидроузлах – Можайском, Рузском, Истринском.

Некоторые выводы о степени обеспеченности метеорологической информацией на рассматриваемой территории можно сделать на основе парной корреляции. Расчеты коэффициентов корреляции (R) выполнены по данным наблюдений суточных осадков за последние 10 лет - за год, за теплый и холодный периоды. Значения коэффициентов корреляции, вычисленных для теплого - определяющего сток рек периода, заметно ниже (R=0,35-0,65) корреляций определенных за холодный период (R=0,50-0,95). Ясно, что летне-осенние осадки, часто ливневые, имеют локальное распространение и для правильного учета их пространственной изменчивости необходима или достаточно густая осадкомерная сеть или необходимы данные дистанционных, площадных радиолокационных измерений осадков. Коэффициенты корреляции между рядами суточных значений осадков за весь год имеют явную тенденцию к уменьшению с увеличением расстояния между станциями. Например, между рядами наблюдений в Можайске и на Рузском гидроузле коэффициент корреляции равен 0,93, Можайск – Павловская Слобода – 0,74 и Можайск – обсерватория МГУ – 0,38. Карто-схемы осадков при разном числе и разных составах пунктов наблюдений существенно отличаются друг от друга, особенно летом, что свидетельствует о необходимости расширения осадкомерной сети или, по крайней мере, использования данных всех имеющихся пунктов наблюдений.

Другая ситуация с данными наблюдений температуры воздуха. По результатам корреляционного анализа рядов наблюдений за температурой воздуха на метеостанциях, расположенных в бассейне и на прилегающих к нему территориях, выполненного без разделения на сезоны и отдельно для холодного и теплого периода года, можно заключить, что пространственная изменчивость температур воздуха невелика (R=0,75-0,99). Значения суточных температур воздуха в теплый период года, полученных только на двух станциях, например, в г. Можайске и пос. Н.–Иерусалим, можно распространить на всю исследуемую территорию(R=0,93). В зимний период коэффициент корреляции по данным этих двух станций снижается (R=0,78), т. е. пространственная связность уменьшается. Учитывая, что формирование стока рек идет, в основном, только в теплый период года, можно считать, что информацией о температурах воздуха для моделирования стока со всей интересующей нас части бассейна могут обеспечить две – три метеостанции, расположенные в разных частях водосбора.

Дефицит влажности воздуха аналогично температуре воздуха имеет небольшую пространственную изменчивость.

Гидрологический блок модели ECOMAG осуществляет расчет гидрографов стока в два этапа. Сначала рассчитывается бассейновая составляющая (боковой приток к элементам русловой сети), а затем ведется расчет трансформации всей поступившей в русловую сеть воды. Вся необходимая информация для моделирования процессов формирования стока на водосборе и трансформацию его в русловой сети составляет базу “Бассейн”. Она содержит две группы данных: морфометрические характеристики - структура русловой сети, сеточное представление бассейна (гриды), поперечные сечения по каждому из выбранных характерных участков речных русел и гидрологические - гидрографы попусков воды четырех водохранилищ, суммарный приток воды к Рублевским водозаборам, гидрографы стока малых рек. Расчеты в руслах рек могут вестись по схематизированным руслам на основе грида рельефа. Русловая часть модели более простая, по сравнению с блоком моделирования процессов формирования стока на водосборе. Сток на элементе речной сети описывается упрощенной версией уравнения кинематической волны.

Проверка эффективности моделирования стока проводилась по данным наблюдений с 1979 по 1998 год и с 2002 до 2006 год. К сожалению, за последний период ряды гидрометеорологических наблюдений имеют пропуски. На зарегулированных участках рек имеется 4 гидрологические станции – на р. Москве (у г. Звенигорода, пос. Петрово–Дальнее и пос. Рублево) и на р. Истре - у пос. Павловская Слобода. Кроме

материалов наблюдений на этих станциях имеются также сведения о сбросах воды с Можайского, Истринского, Рузского и Озернинского водохранилищ и материалы о незарегулированном стоке: р.Искона - Новинки, р.Малая Истра - Киселево и экспериментальный водосбор- р.Медвенка-Лапино. Суммарная площадь их бассейнов составляет всего лишь 24% от всей незарегулируемой части водосбора.

Гидрологический блок комплекса позволил расчитать целый ряд гидрографов стока в перечисленных выше сворах, в том числе, в замыкающем створе водосбора у Рублевских водозаборов. Для русловых трактов основных рек выполнены имитационные расчеты трансформации стока по длине реки, позволяющие оценить время руслового добегания до поселка Рублево, при различных режимах сработки водохранилищ и при различных величинах бокового притока с незарегулированной части бассейна. Результаты моделирования стока свидетельствуют о высокой эффективности используемых программных средств.

Успешность использования модели для конкретных водосборов во многом зависит от надежности определения ее параметров. Большинство из них достаточно хорошо оцениваются в результате физико-географического анализа различных обобщенных данных, а также использования эмпирических и полуэмпирических зависимостей для рассматриваемого региона. Большую роль при этом играют данные комплексных наблюдений на экспериментальных водосборах и логах Подмосковной водно-балансовой станции, расположенной на рассматриваемой территории. Они позволяют выявить основные стокоформирующие факторы в различных ландшафтах, оценить влияние леса, почвогрунтов, различных схем использования земель и других видов антропогенной деятельности на сток рек и распространить их на весь бассейн.

При наличии прогнозных значений метеоэлементов на последующие дни, по модели составляется прогноз бокового притока с заблаговременностью превышающей время добегания воды от водохранилищ, что позволяет в полной мере корректировать объемы сбросов водохранилищ, обеспечивающих необходимые объемы для водозаборов.

Полученные в гидрологическом блоке результаты являются также основой для важного в этой модели гидрохимического блока благодаря которому имеется возможность описывать процессы поступления загрязнений на поверхность территории и их трансформацию при движении по русловой сети. Изменение содержания в воде примеси учитывается на основе неоднородного одномерного уравнения баланса загрязняющего вещества в потоке с учетом бокового притока загрязняющих веществ. На его основе проводятся расчеты концентраций загрязняющих веществ по длине р.Москвы и ее основных притоков по оперативным данным об аварийных сбросах загрязнений или по материалам наблюдений на сети мониторинга качества воды. Проверка эффективности программного комплекса проводилась по данным МГП «Мосводоканал» за период с 1994г. по 2003 г. для кризисных ситуаций, связанных с поступлением загрязнений в р. Москву и ее притоки и с ухудшением органолептических показателей качества воды. Результаты моделирования трансформации загрязнений, при движению вниз по течению, в некоторых случаях не соответствовали данным наблюдений станций сети мониторинга. Причиной этого могут служить неучтенные промежуточные сосредоточенные стоки, диффузионное загрязнение, изменение водности. Здесь очевидно, что вопрос такой сложности не может иметь простого решения.

ВЫВОДЫ

1.Выявлена способность комплекса ECOMAG к реальному отображению формирования стока воды с водосбора, трансформации паводков и волн попусков с водохранилищ, процессов перемещения загрязнений по русловой сети;

2. На бассейновом уровне необходимо создание географической информационной системы, позволяющий обосновать и упростить выбор тех или иных управленческих решений.

3. Имитационные расчеты показали, что программный комплекс может использоваться при решении задачи оптимизации работы москворецких водохранилищ для обеспечения гарантированного расхода воды у водозаборов и снижения концентрации загрязнений при их аварийных выбросах.

4.Процедурой подбора оптимальных параметров гидрологического блока можно добиться качества моделирования, пригодного для краткосрочного прогнозирования бокового притока в русловую сеть. Максимальной эффективности использование комплекса достигается при использовании блока прогнозирования бокового притока в русловую сеть по метеорологическим данным с заблаговременностью 2-4 суток.

5. Для фактической оценки времени добегания от плотин водохранилищ до водозаборов Рублево необходимо организовать в меженный период серию попусков разных объемов с отдельных водохранилищ.

6. Для снижения ущербов от поступления загрязнений в речную сеть необходимо обновить базу данных потенциальных объектов-загрязнителей на водосборе.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы статьи выражают свою искреннюю благодарность Ю.Г.Мотовилову за предоставленную возможность использования программного комплекса ECOMAG.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-05-64099).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Алексеевский Н.И., Жук В.А., В.Ю.Иванов, Фролова Н.Л.(1998). Особенности формирования и расчета притока воды к тракту Москворецкого водоисточника. Водные ресурсы, том 25, №2, стр.146-151.

[2] Жук В.А., Гончаров А.В., Мищенко М.А., Фролова Н.Л. (1999).Прогнозирование процессов формирования стока и качества воды в незарегулируемой части Москворецкого водоисточника. В: Проблемы гидрологии и гидроэкологии, Алексеевский Н.И. (редактор), вып.1, Издательство МГУ, Москва, стр.330-337

[3] Алексеевский Н.И., Жук В.А., Печникова О.В., Полянин В.О., Фролова Н.Л.(2004) Программные средства для поддержки управленческих решений при обеспечении водоснабжения г. Москвы. В: Гидроэкология: теория и практика (Проблемы гидрологии и гидроэкологии), Алексеевский Н.И. (редактор), вып.2, Издательство МГУ, Москва, стр. 454 - 467.

[4] Корень В.И.(1991) Математические модели в прогнозах речного стока. Гидрометеоиздат, 199 с.

[5] Мотовилов Ю.Г.(1993). Моделирование снежного покрова и снеготаяния. В: Моделирование гидрологического цикла речных водосборов, Кучмент Л.С., МузылевЕ.Л.(редакторы), Издательство НГК РАН, Москва, стр. 9-37.

[6] Motovilov Yu.G., L.Gottschalk, K.Engeland and A.Belokurov (1999) ECOMAG: Regional model of hydrological cycle. Application to the NOPEX region. Department of Geophysics, University of Oslo, Institute Report Series no.105 ISBN 82-91885-04-4, 88p.

[7] Субботин А.И., Дыгало В.С. (1991). Экспериментальные гидрологические исследования в бассейне р. Москвы. Гидрометеоиздат, Москва, 264 с.