

УДК 873.03.17:551.242.5.057 (476)

О.А. БЕРЕЗКО

ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ

The approaches to forecasting of the population supply with ground water have been outlined in the paper. The prognosis of water supply in Belarus by underground water up till 2050 has been carried out taking into account permissible drawdowns in liner water intake areas and of water quality changes in the areas with conditionally contaminated surface and ground waters.

Решение проблем экологической гидрогеологии и рационального недропользования имеет важное значение, особенно для регионов Беларуси с высокой техногенной нагрузкой. В этом отношении особую роль играет проведение эколого-гидрогеологических исследований территорий, в которых отмечается степень воздействия хозяйственной деятельности на подземные воды и геологическую среду в целом. Подземные воды как полезное ископаемое и составная часть среды обитания человека являются одним из основных объектов изучения и контроля. Пресные подземные воды служат основным, а в отдельных регионах нашей страны - единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения, в связи с чем существует необходимость оценки, анализа и прогноза режима подземных вод.

Методология решения этой многоаспектной проблемы, охватывающей широкий диапазон вопросов, в современном мире разработана недостаточно и требует дальнейшего совершенствования. Это связано прежде всего с риском, зависящим от достоверности прогнозов и от обоснованности принятия тех или иных научных и практических решений, когда цена ошибки может иметь как незначительные, так и существенные последствия [2].

Структурная схема эколого-гидрогеологического исследования подземной гидросферы включает четыре стадии: 1) информационный поиск; 2) исследование; 3) моделирование в целях прогнозирования; 4) управление.

На первой стадии основной целью является сбор фактологического материала, изучение территории региона и выбор приоритетных направлений исследований. В результате информационного поиска систематизируются данные по территории исследования в виде карт, разрезов, таблиц [1]. Вторая стадия включает качественный и количественный анализ изменений гидрохимических и гидродинамических показателей при эксплуатации подземных вод (водозаборы) и в естественных условиях (гидрогеологические посты) на основании режимных наблюдений. Конечной целью является создание возможно полной информационной базы объекта исследования. Такая база содержит два вида информации: численные (цифровая база) и не численные (картографическая база) данные. Третьей стадией эколого-гидрогеологического исследования подземных вод является моделирование, цель которого - оценка и прогноз загрязнения подземной гидросферы в пространственном и временном аспектах и изучение физико-химических и миграционных процессов взаимодействия загрязнителей с геологической средой. Основой моделей массопереноса служат геолого-гидрологические и гидрогеохимические условия участка района работ. При их разработке большое внимание уделяется обоснованию и выбору исходных данных, проведению геофильтрационной, геомиграционной и вычислительной схематизации, оцениванию параметров и неопределенностей путем решения эпигнозных и прогнозных задач, анализу чувствительности входных параметров [2]. Управление - четвертая стадия - подразумевает использование модели при принятии экологических, экономических, политических и социальных решений, контроль за состоянием окружающей среды как в локальном, так и в региональном плане.

Моделирование. Важное место в предложенной технологической схеме занимает моделирование эколого-гидрогеологических условий исследуемой территории. Анализ качества подземных и поверхностных вод показывает постоянное его изменение на отдельных водозаборах и гидрогеологических постах, что в будущем может стать одной из главных проблем при обеспечении населения Беларуси хозяйственно-питьевыми водами [1, 3]. Поэтому прогноз изменения химического состава и качества подземных вод возможен только на базе моделирования при подтверждении его полевыми и лабораторными исследованиями. Для прогнозирования необходимо выделить гидрогеохимические границы водоносной системы, выявить и определить тип источников загрязнения, построить карты, характеризующие изменение в плане отдельных химических компонентов, карты мощностей и пористости водоносных и разделяющих их слабопроницаемых пластов. С целью отражения геохимических условий на верхней границе модели дополнительно строятся гидрохимические карты поверхностных водотоков, инфильтрации атмосферных осадков и грунтовых вод, а на нижней - карта минерализованных вод. Необходимость выделения гидрогеохимических условий на границах модели заключается в определении доли некондиционных вод в формировании эксплуатационных запасов и установлении распространения контуров загрязнения в будущем. Кроме граничных, на модели задаются начальные условия - максимальное значение напора подземных вод в каждом из водоносных пластов.

В результате исходные гидрогеологическая и гидрогеохимическая схемы заменяются фильтрационной и схемой массопереноса соответственно. Отметим, что фильтрационная схема является концептуальной моделью гидродинамической системы, включающей в общем случае несколько водоносных и разделяющих пластов с зонами различных входных параметров и внешними и внутренними граничными условиями 1-, 2- и 3-го рода. Расчетная схема массопереноса по структуре соответствует фильтрационной и содержит сведения о распределении концентраций отдельных химических компо-

нентов в каждом пласте, их мощности и активной пористости. При конечно-разностной схематизации картографическая модель фильтрации и массопереноса заключается в параллелепипед с системой расположенных по вертикали шаблонов, соответствующих каждому водоносному пласту и разделяющему их слою. Шаблоны разбиваются на блоки. В результате этой процедуры непрерывная концептуальная модель заменяется конечно-разностным аналогом, в котором информация о параметрах фильтрации и массопереноса, водозаборах и границах привязывается к узловым точкам, расположенным в центрах блоков. Затем на языке программирования составляются задания для решения эпигнозных и прогнозных задач. Набор информации о массивах модели осуществляется в диалоговом режиме на дисплее [2].

Следующим этапом прогнозирования качества подземных вод является калибровка региональной модели и моделей-врезок. Калибровка выполняется методом проб и ошибок путем подгонки исходных данных, входящих в модели (свойств гидродинамической системы, величин водоотбора и инфильтрации, граничных и начальных условий и др.), для получения соответствующих выходов. Основные цели калибровки - уточнение концептуальной модели гидродинамической системы и выявление ее чувствительности к факторам, влияющим на прогнозные значения изучаемых переменных, в частности напоров подземных вод и концентрации растворенных в воде веществ.

В процессе калибровки путем решения обратных задач проводится оценка и уточнение значений и зон входных параметров модели (водопроницаемость, концентрации и др.), ее внешних границ и граничных условий. Решение задач, в зависимости от поставленной цели, проводится либо в стационарной, либо в нестационарной постановке - в напорах и понижениях. Затем фактические и соответствующие им модельные значения сопоставляются. Совпадение фактических напоров (понижений), расходов и других показателей с модельными является критерием адекватности модели натуре.

На моделях воссоздаются естественные и нарушенные условия (до эксплуатации водозаборов и в процессе их эксплуатации на конкретный период времени) и производится оценка естественных ресурсов подземных вод и состояний гидродинамической системы на настоящий момент. При решении обратных задач по восстановлению естественного режима гидрогеологические параметры принимаются неизменными, а увязка модели на натуре осуществляется за счет уточнения граничных условий и инфильтрационного питания.

После этого на региональной модели решаются прогнозные геофильтрационная и геомиграционная задачи с определением напоров (понижений) на участках водозаборов при заявленной потребности в воде на перспективу, осуществляется взаимодействие их друг с другом, определяется степень воздействия водоотбора на состояние гидродинамической системы в целом, устанавливаются контуры распространения некондиционных вод или отдельных химических компонентов. Эти данные позволяют произвести картирование эксплуатационных запасов подземных вод с элементами геоэкологии и дать прогноз обеспеченности страны хозяйственно-питьевыми водами на 2050 г.

Прогнозирование обеспеченности оценивается сравнением допустимых понижений (S_d) на линии водозаборов с понижениями, полученными на модели (S_m). При условиях $S_d > S_m$ и отсутствии загрязнения подземных вод (концентрация компонентов в воде не превышает ПДК) обеспеченность подтверждается, в случае нарушения этого условия - не подтверждается. В связи с этим разрабатываются рекомендации по использованию водных ресурсов на данном объекте и проведению гидрогеологических исследований на новой или ранее выявленной перспективной площади.

На крупномасштабных моделях-врезках оцениваются эксплуатационные запасы подземных вод, прогнозируются изменения их качества, решаются задачи оптимизации водоотбора, охраны окружающей среды, управления водными ресурсами и режимом подземных вод, контроля за их состоянием и многие другие [2].

Приведем пример одного из вариантов гидродинамического моделирования - *гидрохимическое моделирование* территории Беларуси на базе разработанной БелНИГРИ региональной численной модели «BELARUS» с многофункциональными крупномасштабными моделями-врезками. Основой моделирования явились модели-врезки городских агломераций, в которые, помимо входных данных, содержащих информацию о граничных условиях, водоотборе и фильтрационных свойствах водоносных и разделяющих пластов, включены сведения об их мощности, пористости, а также массивы концентраций загрязняющего химического компонента в подземных водах. Основной целью моделирования геомиграции в региональном плане служит предварительная оценка возможного изменения химического состава и качества подземных вод за счет поступления загрязненных поверхностных, грунтовых и подтока минерализованных вод за расчетный период эксплуатации месторождений на ближайшую перспективу [3].

Для решения поставленной задачи в первом от поверхности водоносном горизонте и на водных объектах по материалам Белорусской гидрогеологической экспедиции РУП «Белгеология» заданы участки (площади) загрязнения грунтовых и поверхностных вод. Основным компонентом-загрязнителем являлись азотные соединения, которые содержатся на этих площадях в концентрациях выше предельно допустимых (ПДК более 40 мг/дм³) [4]. Здесь следует отметить, что в качестве загрязняющего мигранта может быть принят любой другой компонент: тяжелые металлы, сульфаты, хлориды, органические соединения, радиоактивные элементы и т. д. В реках Беларуси концентрация азота нитратного колеблется в широких пределах, превышая ПДК на отдельных участках в два раза и более. Поэтому на модели в блоках расположения водных объектов заданы соответствующие величины, изменяющиеся в интервале от 0,1 до 3 г/дм³. По содержанию азотных соединений в грунтовых водах на модели условно выделено пять зон с различными значениями величин концентрации (С): $C_1=5$; $C_2=40$; $C_3=60$; $C_4=80$; $C_5=100$ мг/дм³. После введения в модель массивов мощности, пористости и концентрации загрязняющего мигранта решена геомиграционная задача на прогнозный период [5].

Согласно полученным результатам, в процессе интенсивного водоотбора происходит продвижение контуров загрязнения к водозаборам и увеличение в подземных водах фактического содержания рассматриваемого компонента (азотных соединений). Однако его содержание не превышает установленных норм (40 мг/дм³), за исключением незащищенных участков первого напорного горизонта (места отсутствия супесчано-глинистых покровных отложений и наличия гидрогеологических «окон»), которые необходимо моделировать в более крупном масштабе.

Таким образом, полученные предварительные результаты гидрохимического моделирования позволяют специализированным организациям проводить опытно-миграционные исследования в полевых и лабораторных условиях, создавать (расширять) необходимую и обоснованную гидрогеохимическую режимную сеть на водозаборах и опасных участках загрязнения в целях контроля за качеством водных ресурсов, его прогнозирования и предотвращения загрязнения.

1. Губин В.Н., Курило К.А. // Вестн. Белорус, ун-та. Сер. 2. 2003. № 3. С. 59.

2. Курило К.А. Ресурсы пресных подземных вод Беларуси: Автореф. ... дис. д-ра геол.-мин. наук. М., 2004.

3. Курило К.А., Березко О.А. // Гидрогеологические исследования в Беларуси. Мн., 2001. С. 90.

4. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М., 1990.

5. Шестаков В.М., Кравченко И.П., Штенгелов Р.С. Практикум по динамике подземных вод. М., 1987.

Поступила в редакцию 01.03.06.

Ольга Александровна Березко - аспирант кафедры динамической геологии. Научный руководитель - доктор географических наук, профессор В.Н. Губин.