

УДК 99941-30-57-9

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В СВЯЗИ С КРУПНЫМИ ВОДОЗАБОРАМИ

Р.С. Минасян, Г.М. Мхитарян, Г.А. Торосян, Г.А. Овасапян, О.Г. Келедзян

НИИ водных проблем и гидротехники РА

На основании данных комплексных исследований, выполненных в пределах Араратской и Апаранской межгорных впадин, рассмотрены вопросы, связанные с недопущением экологических последствий, вызванных крупными водозаборами подземных вод. В результате анализа данных метода математического моделирования решены задачи прогнозирования режима изменения уровней подземных вод при сохранении неизменной нагрузки на действующие водозаборы, определены дебиты и уровни в скважинах при дополнительных водозаборах, установлены рациональная схема заложения водозаборных скважин и максимально возможный суммарный отбор подземных вод.

Ключевые слова: подземные воды, артезианский бассейн, гидрогеология, водозабор, расход воды, математическое моделирование.

Введение. В настоящее время во многих регионах мира взаимоотношение “человек-природа” привело к значительным изменениям экосферы, а активная техногенная деятельность человека стала заметным геоэкологическим фактором. Именно в пределах экосферы имеют место многие негативные последствия, которые обусловлены, в частности, оседаниями и провалами поверхности земли, оползневыми и селевыми явлениями, а на многих территориях недопустимые водозаборы привели к истощению эксплуатируемых месторождений подземных вод. Исследование указанных процессов и явлений, их прогнозирование и разработка соответствующих “защитных” мероприятий являются актуальными экологическими задачами. В качестве примера в работе рассматриваются результаты комплексных исследований, выполненных в пределах Араратской и Апаранской межгорных впадин.

Постановка задач исследования и методика их решения

1. Задача о необходимости пересчета (переоценки) эксплуатационных запасов подземных вод Араратской котловины. Известно, что в Республике Армения подземные воды широко используются для водоснабжения населенных

пунктов, орошения земель, а также для промышленных и лечебных целей. Опыт многих стран показывает, что значительные отборы подземных вод и недопустимые понижения их уровней приводят к негативным последствиям на окружающую среду. Наиболее контрастно это явление установлено на многих скважинных водозаборах Араратской котловины. В частности, рассмотрим результаты фактических наблюдений на эксплуатируемом месторождении Гай-Айкашен [В.П. Празян, С.Г. Паносян и др.]. Сравнительный анализ состояния эксплуатации подземных вод для периода 1981-2015 гг. показывает следующее. Расход в ряде водозаборных скважин уменьшился в среднем на 30 л/с, что привело к снижению пьезометрических уровней в среднем на 5,0 м. Об изменениях (уменьшениях) уровней вод свидетельствуют также гидрогеологические данные, полученные на территории прилегающего к реке Мецамор - озера Акна. Следует особо отметить, что на гидродинамические параметры эксплуатируемых водоносных горизонтов негативное влияние, в первую очередь, оказывают существующие здесь рыбные хозяйства. Каждое из них использует в секунду в среднем 80...100 л пресной воды. Следовательно, со временем возможны полные потери положительного гидростатического напора эксплуатируемого продуктивного водоносного горизонта с его негативными последствиями на окружающую среду. Уже сейчас в водном балансе Араратской межгорной впадины его расходная составляющая намного больше приходной, а это уже путь к истощению самого месторождения [1]. Следует также отметить об изменениях в ландшафтных условиях территорий, связанных с отбором подземных вод. На отдельных участках Армавирского, Эчмиадзинского, Арташатского районов отбор подземных вод привел к снижению уровня первого от поверхности (грунтового) водоносного горизонта и, как следствие, к иссушению почвенного покрова, а следовательно, угнетению или даже гибели растительности и пересушению прилегающих сельскохозяйственных угодий. Таким образом, ожидаемые природоохранные изменения предъявляют новые требования к отбору и оценке эксплуатационных запасов подземных вод.

Известно, что большинство скважинных водозаборных месторождений РА, в том числе и Араратской котловины, эксплуатируются более 30...35 лет. Следовательно, естественно-антропогенные факторы не могли не отразиться на их гидрогеолого-экологических условиях. В то же время комплексный характер антропогенного воздействия водохозяйственных систем на гидросферу выдвигает новую задачу, а именно - сопоставление наличия водных ресурсов и потребностей в них для ограниченных территорий. Инструментом решения такого рода задачи является уравнение водохозяйственного баланса (в.х.б.). Вводимые в в.х.б. величины, ограничивающие расходы вод, обычно имеют

большое значение, так как именно с их помощью может быть выполнено условие сохранения экологического равновесия территорий с учетом комплексного характера водопользования. Выражение, ограничивающее расходы вод, задается следующим образом [2]:

$$Q_{заб} \leq Q_{огр} \leq Q_{пр}, \quad (1)$$

где $Q_{заб}$ - количество воды, которое необходимо забрать из природного стока для различных нужд (зависит от числа водохозяйственных мероприятий и потребителей воды); $Q_{огр}$ - количество воды, которое необходимо оставить, в особенности для санитарных и экологических целей; $Q_{пр}$ - количество воды, реально существующее в пределах балансового участка.

Следует особо отметить, что при подсчете эксплуатационных запасов (ресурсов) подземных вод отдельных месторождений республики, в том числе и Араратской впадины, сделано следующее общее допущение - для расчетного водосборного бассейна принято пространственное совпадение (унаследованность) современных и древних (погребенных) водоразделов. В то же время, как показывают результаты наших исследований, это допущение не всегда правомерно [3]. Известно, что подсчет эксплуатационных запасов подземных вод многих месторождений в РА выполнен, в основном, сочетанием балансового и гидравлического методов. Основным достоинством использованного гидравлического метода является то, что при оценке эксплуатационных запасов не требуется определений расчетных гидрогеологических параметров водносного горизонта. Это достоинство метода, по-видимому, предопределило повсеместное их применение в республике. В то же время гидравлический метод имеет и существенные недостатки. Основным из них является то, что этим методом нельзя оценить обеспеченность восполнения эксплуатационных запасов подземных вод, так как используемые эмпирические экстраполяционные зависимости не включают элементов баланса подземного стока, что не позволяет их применение для прогнозирования понижений уровней вод в скважинах в процессе эксплуатации водозаборов [4]. Для переоценочных гидрогеологических расчетов скважинных водозаборов нами предлагается использовать гидродинамический метод в сочетании с математическим моделированием. Теоретические основы гидродинамического метода оценки эксплуатационных запасов подземных вод рассмотрены в работах Ф.М. Бочевера, Н.Н. Биндемана, Н.И. Плотникова, В.М. Шестакова, Л.С. Язвина и др. Метод основан на достаточно строгих математических решениях, вытекающих из теории движения подземных вод в пористых и трещиноватых породах. Достоинство предлагаемого метода состоит в том, что дифференциальные уравнения гидродинамики, лежащие в основе метода,

учитывают баланс потока подземных вод, т.е. сработку и возобновляемость запасов при эксплуатации. Следовательно, результаты оценки запасов с помощью данного метода не требуют определения источников их восполнения [5,6]. В качестве примера математического моделирования ниже рассмотрены результаты работ, выполненных в пределах Апаранской межгорной впадины.

2. Обоснование возможностей дополнительного отбора подземных вод из эксплуатируемых месторождений с использованием метода математического моделирования (на примере Апаранского месторождения подземных вод). В качестве дополнительного источника подземных вод для целей водоснабжения нами предлагается увеличение отбора из действующих эксплуатируемых месторождений. В рассматриваемом Апаранском бассейне подземных вод пробурены 11 эксплуатационных скважин, которые пересекли три водоносных горизонта: грунтовый и два напорных. Первый - слабонапорный водоносный горизонт встречается на глубине 60...110 м и представлен валунно-галечно-песчаными породами с общей мощностью 15...25 м; коэффициент фильтрации - 20...30 м/сут. Второй - напорный водоносный горизонт находится на глубине 150...200 м, имеет эффективную мощность 20...25 м и представлен в основном крупнообломочными породами с песчаным заполнителем. Водопроницаемость слоя 640...950 м²/сут, коэффициент упругой водоотдачи 0,010...0,020. Указанные напорные водоносные горизонты гидравлически связаны и составляют единый водоносный комплекс с общим пьезометрическим уровнем. В рассмотренный нами период в целях водоснабжения из Апаранского напорного водоносного комплекса суммарный водозабор составлял около 400 л/с. Задача дополнительного отбора подземных вод из данного бассейна решена методом математического моделирования. Схематизированный геофильтрационный разрез приведен к трем слоям: верхний - грунтовый, промежуточный - относительно водоупорный и нижний - объединяющий локальные напорные водоносные горизонты. Математическая задача сведена к решению системы дифференциальных уравнений с частными производными при нестационарной фильтрации с учетом соответствующих начальных и граничных условий. Перед схематизацией гидрогеологических условий территории выполнено ее районирование по отдельным гидрогеологическим характеристикам - параметрам водопроницаемости, строению водоносных горизонтов, условиям залегания пород и взаимодействию водоносных слоев, а также по наличию связей современных и древних водоразделов. В целом на основании данных о естественном режиме подземных вод предварительно решена обратная задача моделирования: уточнены гидрогеологические параметры водоносных горизонтов, установлены области питания и разгрузки подземных вод. Решена

также одна из основных задач моделирования: выполнена геофильтрационная схематизация природных условий исследованной территории. В результате этого уменьшена мерность подземных потоков, скорректированы значения гидрогеологических показателей водоносных толщ. На заключительном этапе работ решена прямая задача моделирования [4,6]. При этом общий вид дифференциальных уравнений, в зависимости от числа водоносных и относительно водоупорных слоев, следующий:

$$\mu_1 \frac{\partial H_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T_1 \frac{\partial H_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_1 \frac{\partial H_1}{\partial y} \right) + k_p \frac{H_2 - H_1}{m_p} + W(xy), \quad (2)$$

$$\mu_2 \frac{\partial H_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T_2 \frac{\partial H_2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_2 \frac{\partial H_2}{\partial y} \right) + k_p \frac{H_2 - H_1}{m_p} - q_c, \quad (3)$$

где H_1, H_2 – напоры соответственно грунтового и напорного водоносных горизонтов, m ; T_1, T_2 – водопродимости водоносных горизонтов, $m/сут$; μ_1, μ_2 – коэффициенты упругой водоотдачи соответствующих горизонтов; k_p, m_p – коэффициент фильтрации ($m/сут$) и мощность (m) разделяющего слабо-водопроницаемого слоя; $W(xy)$ – интенсивность инфильтрационного питания, $m/сут$; q_c – удельный расход дренажных сооружений, $m/сут$.

На основании моделирования решены следующие задачи: прогнозирован режим изменения уровней подземных вод при сохранении неизменной нагрузки действующего водозабора, определены дебиты, уровни в скважинах при дополнительных водозаборах, установлены рациональная схема заложения водозаборов (скважин) и максимально возможный суммарный водоотбор подземных вод. Из нескольких вариантов решения задачи суммарного водоотбора наиболее оптимальным принят водозабор в среднем 800...900 л/с. Отбор этого количества вод намечается из напорного водоносного горизонта с помощью 31 скважины, из которых 11 – эксплуатируемые, а 20 – проектируемые (по моделированию). По результатам моделирования получены данные для 1-, 5-, 10- и 25-летних сроков эксплуатации рассматриваемого водозабора. Для указанных периодов получены следующие величины понижения напоров в водозаборных скважинах: после одного года – 6...18 м, а в конце расчетного 25-летнего периода – $H_{рас}=20...25$ м.

В заключительной части решения задачи по обоснованию дополнительного отбора подземных вод выполнена проверка допустимого понижения уровней подземных вод в данном водосборном бассейне. Обычно такая оценка, с точки зрения гидрогеологии, сводится к такому понижению уровней вод в скважинах

водозабора (H_c), которое не превышает предельно допустимой величины ($H_{доп}$) с учетом объема заявленной потребности (Q_3) [4]:

$$H_{рас} = Q_3 \phi \leq H_{доп}. \quad (4)$$

В этой структурной зависимости символом ϕ обозначено обобщенное фильтрационное сопротивление области влияния водозабора, которое в общем случае определяется показателями водоносной системы (Π), линейными размерами и граничными условиями областей фильтрации (Γ), характеристиками водозаборного сооружения (B) и длительностью водоотбора (t):

$$\phi = f(\Pi, \Gamma, B, t). \quad (5)$$

Расчет максимально допустимого понижения в рассматриваемом водоносном бассейне выполнен по формуле, предложенной в [4] для напорной системы водоотбора:

$$H_{доп} \approx H_c - \left[(0,3 \div 0,5)m + \Delta H_{нас} + \Delta H_{\phi} \right], \quad (6)$$

где H_c - напор в данной водосборной скважине; $\Delta H_{нас}$ - максимальная глубина погружения низа водоотборного насоса; ΔH_{ϕ} - величина потери напора за счет сопротивления порода-фильтр в прискважинной зоне; m - мощность напорного горизонта.

В конкретном случае для рассматриваемого водозабора использованы следующие данные: $H_c = 140$ м, $\Delta H_{нас} = 70$ м, $\Delta H_{\phi} = 5$ м, $m = 20$ м. Следовательно, $H_{доп} = 140$ м - $(0,5 \cdot 20 + 70 + 5) \approx 55$ м, т.е. $H_{рас} < H_{доп}$.

Таким образом, результаты выполненного математического моделирования показывают, что при дополнительном отборе подземных вод из Апаранского месторождения (примерно 800 л/с) понижение уровня напорного водоносного горизонта не превышает величину допустимого отбора.

Выводы

1. Длительная эксплуатация подземных вод Араратской котловины оказала существенное влияние на их эксплуатационные запасы и привела к понижению их эксплуатационных возможностей.
2. На многих участках действующих водозаборов расчетное понижение уровней подземных вод намного больше фактически установленных. Пересчет запасов позволит увеличить общую производительность действующих водозаборов без выполнения дополнительных полевых разведочных работ.

3. При водно-балансовых и переоценочных расчетах в обязательном порядке необходимо учесть фактическую связь между современными и древними (погребенными) водоразделами водосборных бассейнов.
4. При переоценочных расчетах эксплуатационных запасов рекомендуется использование гидродинамического метода в сочетании с математическим моделированием.
5. На водозаборных участках необходимо осуществить организацию мониторинговых наблюдений для изучения режима подземных вод с целью принятия оперативных мер по предотвращению негативных природно-техногенных воздействий на окружающую среду.

Представленная работа выполнена при финансовой поддержке Государственного комитета по науке МОН РА в рамках научного проекта N15T-1E361.

Литература

1. Геология АрмССР. Т.VIII. Гидрогеология.- Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1974. - 210 с.
2. Прогноз изменения гидрогеологических условий под влиянием водохозяйственных мероприятий / **И.К. Невечерия, Л.И. Заленцова и др.** - М.: Недра, 1987. - 205 с.
3. **Минасян Р.С.** Гидрогеофизические исследования подземных вод вулканических регионов. - Palmarium Academic Publishing, Германия, 2015. - 69 с.
4. **Бочеввер Ф.М.** Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод. - М.: Недра, 1968. - 325 с.
5. **Биндеман Н.Н., Язвин Л.С.** Оценка эксплуатационных запасов подземных вод.- М.: Недра, 1986. - 220 с.
6. **Крашин И.И., Пересунко Д.И.** Оценка эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования.- М.: Недра, 1976. - 122 с.

Поступила в редакцию 04.10.2016.

Принята к опубликованию 22.12.2016.

**ԽՈՇՈՐ ԶՐԱՌՆԵՐԻ ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ ԵՐԿՐԱԷԿՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ ԵՎ ԿԱՆԽԱՏԵՍՈՒՄԸ**

**Ռ.Ս. Մինասյան, Գ.Մ. Մխիթարյան, Գ.Ա. Թորոսյան, Գ.Հ. Հովասափյան,
Հ.Գ. Քելեջյան**

Աշխատանքում համալիր ուսումնասիրությունների հիման վրա, որոնք իրականացված են Արարատի և Ապարանի միջլեռնային իջվածքներում, դիտարկված են արտեզյան ավազանից խոշոր ջրառների արդյունքում էկոլոգիական անթույլատրելի հետևանքների առաջացման, գոգավորության ստորերկրյա ջրերի շահագործական պաշարների վերազնահատման անհրաժեշտության և հորատանցքային ջրառների թույլատրելի մեծության որոշման հարցերը՝ մաթեմատիկական մոդելավորման հիման վրա:

Առանցքային բաներ. ստորերկրյա ջրեր, արտեզյան ավազան, ջրաերկրաբանություն, ջրառ, ջրածախս, մաթեմատիկական մոդելավորում:

**RESEARCH AND PREDICTON OF GEOECOLOGICAL CONDITION
CHANGES DUE TO MAJOR WATER WITHDRAWALS**

R.S. Minasyan, G.M. Mkhitaryan, G.A. Torosyan, G.H. Hovasapyan, H.G. Kelejian

Based on the data of comprehensive research work carried out in Ararat and Aparan intermountain valley, the issues on preventing the ecological consequences caused by large water intakes from the artesian basin are considered. Re-evaluation necessity of the operational resources of the valley's underground waters is justified. Based on the data of mathematical modeling, the tasks on predicting the regime of the underground water level change at keeping the loading of the operating water intake unchanged are solved, the discharges, levels in water wells at additional water intakes are defined, the rational scheme of the contour interval of water intakes and the maximally possible sum water – withdrawal of underground waters are determined.

Keywords: underground water, artesian basin, hydrogeology, water intake, discharge, mathematical modeling.