

Г. А. САТПАЕВ

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЭСКУЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

(Представлена академиком НАН РК Ж. С. Сыдыковым)

По результатам многолетней эксплуатации подземных вод Эскулинского месторождения в Жезказганском горно-промышленном районе проведена переоценка запасов подземных вод гидравлическим методом.

Для подтверждения корректности выполненной методом математического моделирования оценки эксплуатационных запасов подземных вод Эскулинского месторождения в рамках оперативного подсчета (переоценки) эксплуатационных запасов по результатам многолетней промышленной эксплуатации был выполнен подсчет эксплуатационных запасов по состоянию на 01.01.2007 г. гидравлическим методом на основе анализа многолетней промышленной эксплуатации месторождения за период 1976–2007 гг.

Необходимость такой проверки диктовалась тем соображением, что имеющимися инструктивными документами переоценка эксплуатационных запасов месторождений трещинно-карстовых вод предписывается именно гидравлическим методом.

Важнейшим фактором, определившим принципиальную возможность и выбранную методику переоценки эксплуатационных запасов, является наличие весьма представительных данных мониторинга подземных вод за весь период эксплуатации водозабора (эксплуатационной разведки

месторождения). Соответственно, определяющим этапом переоценки запасов становится анализ опыта эксплуатации месторождения и его отдельных участков.

Анализ опыта эксплуатации. Определяющим фактором оценки эксплуатационных запасов по Западному участку являлось наличие представительных данных мониторинга подземных вод за весь период эксплуатации. В отличие от подавляющего большинства других аналогичных случаев, по объекту имеется информация о водоотборе по всем скважинам, характере изменения по ним динамических уровней и качества подземных вод, данные о развитии депрессионной воронки по сети наблюдательных скважин (включавшей в разное время от 25 до 16 скважин) и т.д.

При этом специфика рассматриваемого объекта такова, что наилучшие и наиболее достоверные результаты могут быть получены путем анализа обобщенных систем с применением обобщенных параметров [4]. Под последними понимаются комплексные, интегральные или усредненные характеристики основных, достаточно продолжительных, этапов эксплуатации (удельный расход, понижение, удельное понижение, темп снижения-восстановления, площадные или линейные модули и т.д.). Другими словами, рассматриваемый многолетний опыт относится к тем, достаточно редким случаям, когда наиболее простые решения обеспечивают наилучшие результаты*.

Необходимо отметить, что метод обобщенных параметров в его различных модификациях, обусловленных способом “обобщения” довольно успешно использовался для прогнозов водопритоков в горные выработки на рудных месторождениях, для оценки эксплуатационных запасов подземных вод (в том числе и дренажных вод) [1–6].

Анализу работы Эскулинского водозабора как подобной обобщенной системы и посвящен настоящий подраздел.

Весь период эксплуатации отчетливо разделяется на 3 примерно равновеликих (по 9 лет)

временных этапа, существенно отличающихся друг от друга гидродинамическими условиями, причем все 3 этапа четко диагностируются при обработке опытных данных графоаналитическим методом (рис. 1).

Ранее уже отмечалось, что наибольший водоотбор, в среднем 56,4 тыс. м³/сут, отмечался в 1977–1986 гг.; это позволило выделенный в качестве первого этапа эксплуатации с максимумом 71 тыс. м³/сут в 1981 г., что составляло 82 % от утвержденных эксплуатационных запасов участка (86,7 тыс. м³/сут по категориям A + B + C₁). Среднегодовое понижение динамического уровня по эксплуатационным скважинам на первом этапе составляло 9,5 м в 1978 г. и 32,2 м в 1986 г., в среднем 20–21 м.

Важно также отметить, что снижение уровней по всем наблюдательным скважинам, в том числе и на периферии депрессионной воронки (в 6–11 км от условного центра – скв. № 35), происходило в этот период синхронно, и хотя абсолютные величины понижений были, естественно, ниже (от 0,7 до 34 м), закономерности их изменения практически идентичны таковым по эксплуатационным выработкам.

На втором этапе эксплуатации (1987–1995 гг.) среднегодовой водоотбор снизился до 40,8 тыс. м³/сут, при этом понижения практически стабилизировались и составляли в среднем 31–32 м. Наконец, третий этап (1996–2004 гг.) характеризуется существенным снижением суммарного среднегодового водоотбора (18,2 тыс. м³/сут в среднем за период) и, как следствие, значительным повышением уровней водозабора в целом с 32 м в 1996 г. до 8,5 м в 2004 г.

При выделении этапов и в процессе последующего анализа и расчетов не учитываются (или не всегда учитываются):

– первые 2 года эксплуатации (1976–1977 гг.) – в связи с неполным подключением скважин водозабора и невысоким (нехарактерным) водоотбором;

– последние 2 года (2005–2006 гг.) – в связи с увеличением водоотбора и, соответственно, снижением уровней, не имеющим какого-либо

* Понятно, что для применения представления об обобщенных системах и параметрах требуется значительный объем опытных данных, полученных в результате длительной эксплуатационной разведки месторождения подземных вод. Только тогда возможна обоснованная экстраполяция этих опытных данных на прогнозный период на основе “простых” расчетных зависимостей.

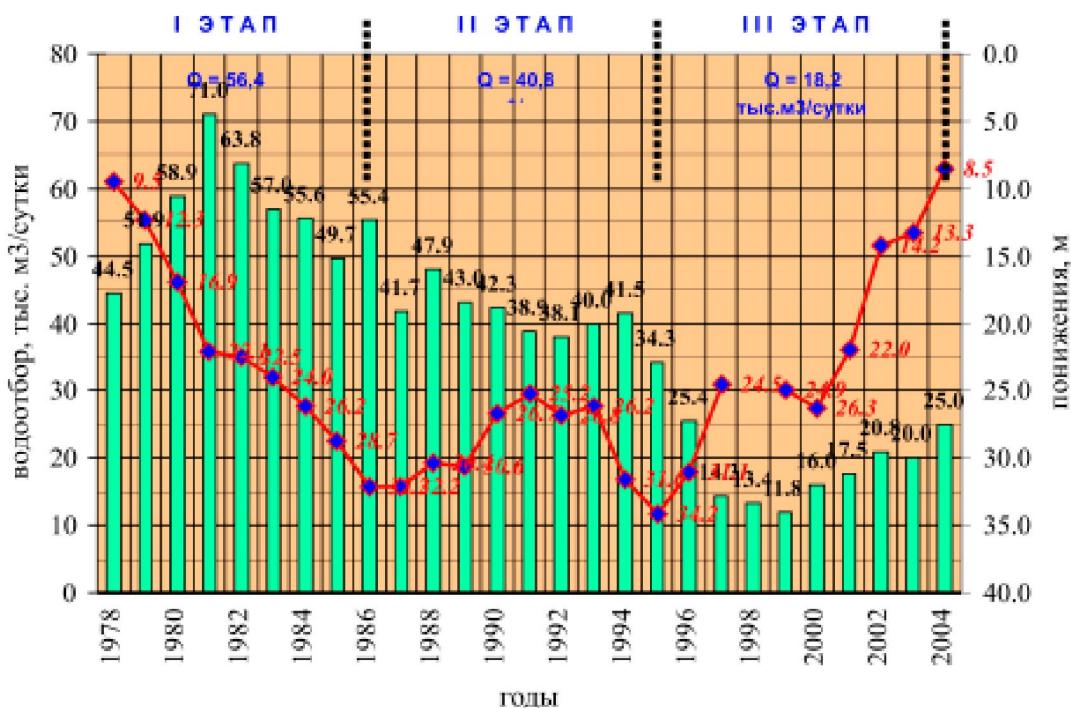


Рис. 1. Графики среднегодовых значений водоотбора и понижений уровня в эксплуатационных скважинах (Западный участок)

значения для выполняемых прогнозов (т.е. такой же “неконтролируемый” временной отрезок, как и в первом случае).

Первый этап эксплуатации (1978–1986 гг.).

Эксплуатация происходит в условиях влияния многообразных разнонаправленных факторов. Одновременно происходит рост водоотбора, достаточно быстро начинается и стабилизируется влияние условно непроницаемой границы на востоке, наряду с этим увеличивается радиус влияния водозабора и формируется воронка с вовлечением дополнительных источников питания подземных вод, основные из которых – поверхностный сток р. Ульген-Жезды и ее притоков. За счет увеличения площади депрессии, происходит также увеличение питания, обусловленное инфильтрацией атмосферных осадков, которое, впрочем, имеет подчиненное значение.

К концу первого этапа депрессионная воронка, несмотря на высокую степень фильтрационной неоднородности трещинно-карстовых водоносных коллекторов, приобретает вполне законченный вид и размеры, которые мало изменяются в последующем. По состоянию на 1986 г. она вытянута в меридиональном направлении на 23–24 км при максимальной ширине около 9 км. Такая ее форма контролируется и однозначно

объясняется тремя основными природными факторами:

- наличием “естественной дренажной” шириной до 2–3 км в скальном массиве с высокой водопроводимостью и водообильностью, имеющей ту же ориентацию;

- расположением водозабора (линейного ряда) по продольной оси этой дренажной параллельно долине р. Ульген-Жезды, протекающей в субмеридиональном направлении и являющейся основным источником формирования эксплуатационных запасов;

- меридионально ориентированным контактом продуктивных горизонтов со слабопроницаемыми отложениями ядра Эскулинского купола, ограничивающим развитие воронки с востока.

Что касается развития депрессионной воронки по глубине, то в течение всего рассматриваемого этапа суммарное воздействие перечисленных выше факторов обуславливает неустановившийся характер движения подземных вод. Это подтверждается и постоянным ростом удельного понижения (S/Q), которое увеличивается от $16.8 \cdot 10^{-5}$ в 1978 г. до $57.1 \cdot 10^{-5}$ сут/ m^2 в 1986 г. (рис. 2).

Такое увеличение указывает на необеспеченность водоотбора естественными ресурсами и, соответственно, частичную сработку емкостных

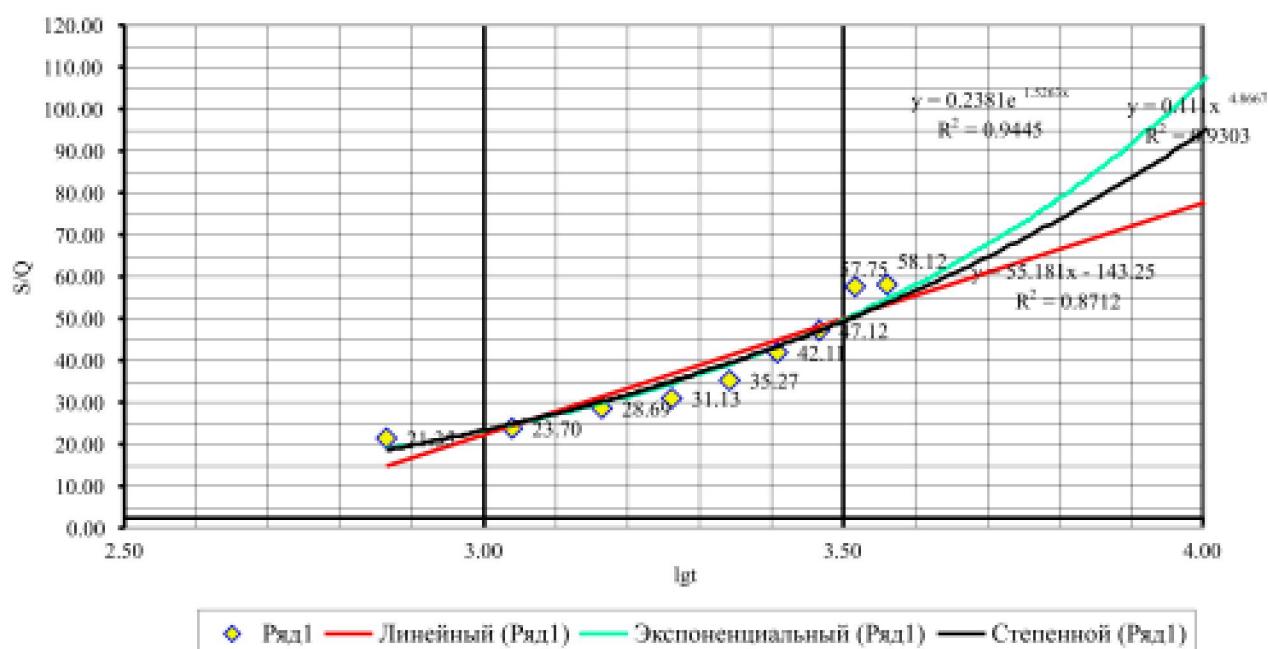


Рис. 2. График среднегодового удельного понижения уровня

запасов. Вместе с тем, следует отметить, что сработка статических запасов невелика, средний темп снижения уровней в пределах депрессионной воронки составляет за 9 лет 10,7 м или 1,2 м/год. Графики зависимости $S - t$ (и всех других), по эксплуатационным и наблюдательным скважинам, практически параллельны друг другу, что в целом обеспечивает их однозначную интерпретацию.

Использование зависимости $S/Q - t$ позволяет, в частности, получить “обобщенные” значения водопроводимости, уровнепроводности и т.п. (рис. 3).

Основные показатели, характеризующие первый этап: средний расход водозабора 56,4 тыс. м³/сут; среднее понижение по площади 10,7 м, по линии водозабора – 22,1 м, максимальное по линии водозабора (1986 г.) – 32,2 м; радиус влияния 7–12 км.

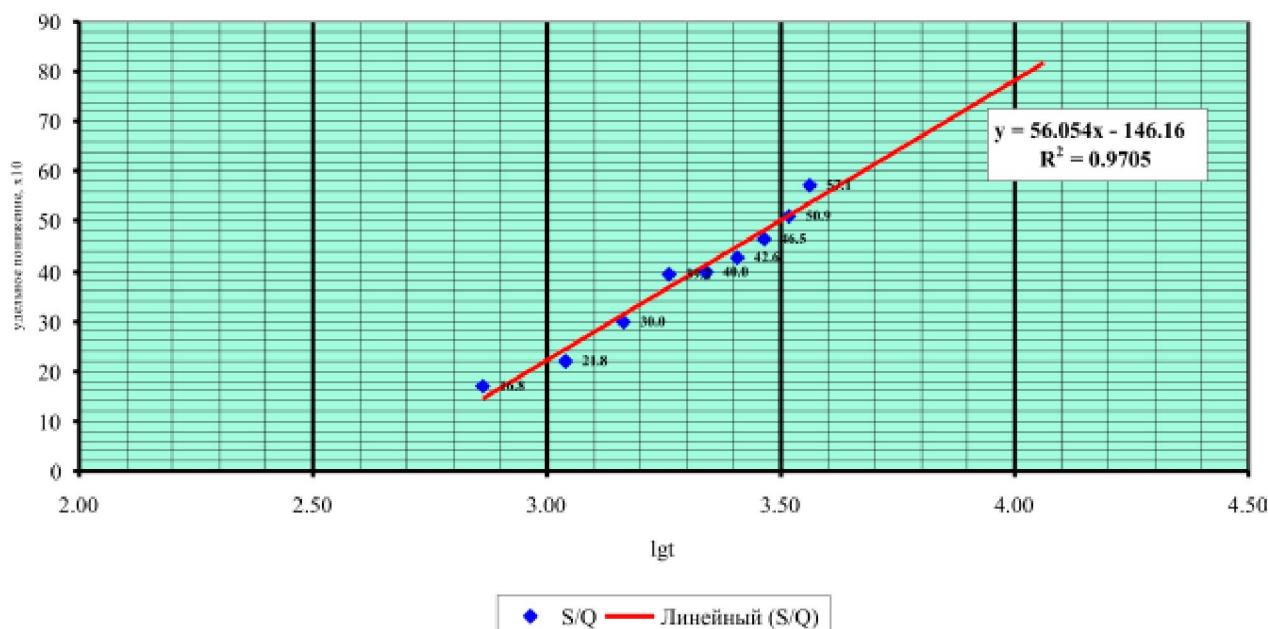


Рис. 3. График временного прослеживания удельного понижения уровня $S_{sp}/Q - \lg t$

Второй этап эксплуатации (1987–1995 гг.).

Временная граница между первым и вторым этапами несколько размыта и по некоторым признакам (например, по величине понижения уровня, равной 31,1 м), может включать и 1996 г. (см. рис. 1). Эксплуатация происходит в условиях равновесия (стабилизации) системы – суммарный средний за этап водоотбор в объеме 40,8 тыс. м³/сут полностью обеспечен естественными и привлекаемыми ресурсами. Неоспоримым доказательством установившегося режима является стабилизация удельного понижения (в начале и в конце этапа – $75,0 - 78,0 \cdot 10^{-5}$ сут/м²) и, соответственно, понижения. Гидрогеологические параметры (в частности, водопроводимость), при необходимости могут быть рассчитаны по формулам для установившегося движения (Дюпюи и т.п.).

Основные показатели, характеризующие второй этап: средний расход водозабора 40,8 тыс. м³/сут; среднее понижение по линии водозабора 29,5 м; радиус влияния 7–12 км.

Третий этап эксплуатации (1996–2004 гг.).

Эксплуатация продолжается в режиме сокращения водоотбора (минимальный – в 1999 г., составивший 11,8 тыс. м³/сут) со средним значением по этапу 18,2 тыс. м³/сут. При этом происходит повышение уровней по всей площади депрессионной воронки. Наиболее показательным и важным для дальнейших расчетов является величина темпа этого повышения по эксплуатационным скважинам, который математически идентичен темпу снижения уровней на первом этапе (естественно, с обратным знаком – рис. 4).

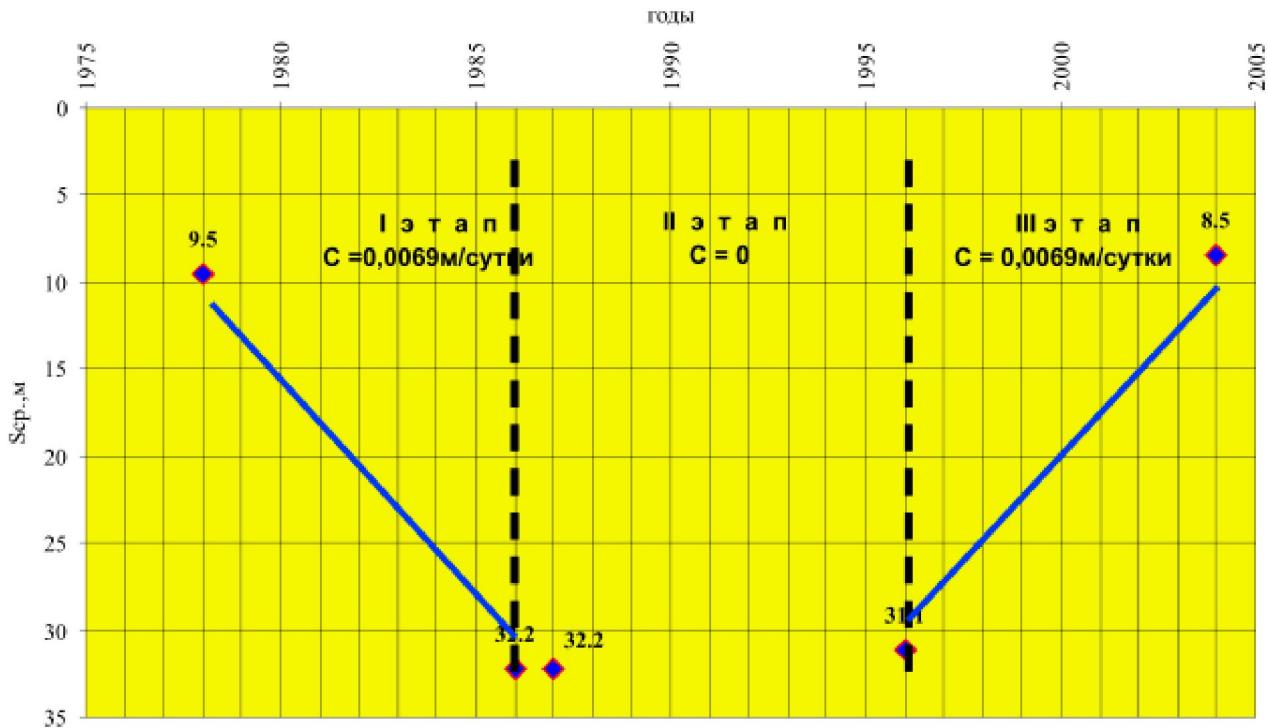


Рис. 4. Темп снижения средних уровней по этапам эксплуатации Западно-Эскулинского водозабора

Другим, не менее важным обстоятельством является восстановление уровней в конце этапа (в 2004 г.) до зафиксированных в момент условного начала эксплуатации водозабора (1978 г.), соответственно, 8,5 и 9,5 м (рис. 1). Другими словами, система “водозабор–водоносный комплекс” практически вернулась к первоначальному состоянию.

Основные показатели, характеризующие третий этап: средний расход водозабора 18,2 тыс. м³/сут;

среднее понижение по линии водозабора (2004 г.) 8,5 м; темп повышения уровней 0,0069 м/сут.

Таким образом, на Западном участке Эскулинского месторождения практически реализован уникальный эксперимент – групповая опытно-эксплуатационная откачка продолжительностью 30 лет, включающая стадии неустановившегося режима (первый этап), стабилизации (второй этап) и восстановления уровней (третий этап). Важнейшее значение, помимо прочего, имеет

фактор восстановления гидродинамической системы до первоначального состояния: положение уровней в 1977–1978 гг. и в 2004 г. практически идентично.

Имеющиеся фактические данные позволяют весьма полно охарактеризовать и практически однозначно интерпретировать гидравлические и гидродинамические процессы, происходившие в рассматриваемой водоносной структуре при различных режимах водоотбора. Депрессионная воронка, сформировавшаяся к концу первого этапа (за условную границу воронки по площади принята изолиния понижения, равная 1 м) остается неизменной на протяжении всего периода эксплуатации. Очевидно, что источники формирования эксплуатационных запасов следует оценивать в пределах этой площади. Анализ гидродинамических особенностей режима эксплуатации водозабора Западного участка Эскулинского водозабора показал:

1. Водоотбор на всех этапах эксплуатации формируется за счет естественных и привлекаемых ресурсов, и только частично – за счет сработки емкостных запасов (первый этап).

2. Депрессионная воронка уже к концу первого этапа охватила значительную площадь всей водоносной структуры и при достигнутых понижениях далее практически не развивалась по площади (водоотбор изменялся только в сторону уменьшения). Несмотря на высокую анизотропию фильтрационных свойств пород, в последующем происходило осушение менее проницаемых слоев и блоков, что в многолетии привело к формированию депрессии, сходной по форме с характерными чертами для некоторых изотропных сред (например, месторождения в погребенных долинах и т.п.). Достаточно четко устанавливаемые границы депрессии позволяют производить необходимые расчеты, редко применимые для месторождений III группы.

3. Гидродинамическое состояние системы к 2004 г. практически вернулось к стартовым условиям 1978 г., что позволяет выполнить новый подсчет (переоценку), но на более мощной информационной базе.

4. Хотя в процессе переоценки используется весь огромный опыт эксплуатации, очевидно, что для обработки опытных данных и прогнозов наиболее применим первый этап (“ветвь снижения”). При этом гидрогеологические параметры, полу-

чаемые при обработке данных эксплуатации, являются, во-первых, обобщенными и характеризуют всю водоносную толщу, во-вторых, комплексными, отражающими в совокупности источники и условия формирования эксплуатационных запасов.

Подсчет эксплуатационных запасов. Подсчету эксплуатационных запасов предшествовало уточнение расчетных гидрогеологических параметров, их значения приняты следующими: площадь влияния водозабора (в пределах условной границы депрессионной воронки по изолинии понижения уровня в 1 м на момент завершения первого этапа эксплуатации (1986 г.)) $F = 158 \cdot 10^6 \text{ м}^2$; мощность водоносного горизонта с некоторым запасом прочности $H = 100 \text{ м}$ (по данным бурения и опробования скважин мощность относительно равномерно проницаемых отложений на Западном участке составляет 120–130 м); дополнительное питание $Q_{\text{don.}} = 40,8 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ (соответствует расходу водозабора на втором этапе эксплуатации, когда стабилизировалось удельное понижение, а темп снижения уровней практически оказался равен нулю); водоотдача $t = 0,03$.

Обобщенное значение водопроводимости получено попутно, при подсчете запасов “методом обобщенных параметров” и составляет $326,8 \text{ м}^2/\text{сут}$ (см. рис. 3). Установленная величина вполне корректна, поскольку среднее понижение в области депрессии практически не превышает 10 % от общей мощности продуктивного водоносного комплекса. На основе этой величины водопроводимости и с учетом принятого значения водоотдачи несложно рассчитать уровнепроводность – $a = 10,9 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{сут}$.

Допустимое понижение $S_{\text{don.}}$ и срок эксплуатации t при расчетах задавались различными для обеспечения вариативности расчетов и выбора наиболее рационального и обоснованного. Переоценка производилась применительно к реально существующему водозабору – условно-линейному ряду из 14–15 скважин длиной 13–14 км.

Опыт 30-летней эксплуатации позволил использовать различные методы оценки запасов: обобщенные системы водозаборов в обобщенной водоносной системе, а также гидрогеологические аналоги, или метод натурного моделирования.

Метод гидрогеологической аналогии наиболее эффективен в сложных гидрогеологических

условиях, которые трудно представить в виде расчетной фильтрационной схемы, и еще более эффективен, если в качестве объекта-аналога могут быть приняты участки действующих водозаборов, а в качестве показателя аналогии – модуль эксплуатационных запасов. В рассматриваемом случае имеет место полная, т.н. интегральная, аналогия. Переоценка производится для практически идентичного водозабора в абсолютно одинаковых гидрогеологических условиях (объектом-аналогом является сам объект). При этом по существу теряет значение точность определения гидрогеологических показателей, поскольку критерии подобия или коэффициенты, характеризующие соотношение отдельных параметров (коэффициентов фильтрации, водопроводимости, водоотдачи и т.п.), равны 1.

Линейный модуль эксплуатационных запасов определялся для безнапорных вод:

$$M_{\text{ЭН}} = M_{\text{ЭА}} \frac{K_n(2H_n - S_p)S_p}{K_a(2H_a - S_a)S_a} = 5150,$$

где $M_{\text{ЭН}}$ – расчетный линейный модуль эксплуатационных запасов, $\text{м}^3/\text{сут}\cdot\text{км}$; $M_{\text{ЭА}} = \frac{56,4 \cdot 10^3}{15,2} = 3710,5 \text{ м}^3/\text{сут}\cdot\text{км}$ – фактический линейный модуль эксплуатационных запасов, рассчитанный по данным первого этапа эксплуатации водозабора со средним расходом 56,4 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$; K_n, K_a – коэффициенты фильтрации соответственно по оцениваемому (“новому”) объекту и объекту-аналогу (их соотношение равно 1); $H_n = H_a = 100 \text{ м}$ – принятая мощность водоносного комплекса, на Западном участке; $S_a = 32,2 \text{ м}$ – фактическое среднегодовое понижение уровня подземных вод на конец первого этапа (1986 г.); $S_p = 50 \text{ м}$ – расчетное понижение уровня по линии водозабора на конечный срок эксплуатации.

Эксплуатационный расход водозабора для той же протяженности (“естественной дрены”) водозаборного сооружения составит:

$$Q_3 = M_{\text{ЭН}} L = 5150 \cdot 15,2 = 78280 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Расчеты по методу обобщенных параметров (зависимость $(S/Q) \div \lg t$) приняты, во-первых, как контрольные, во-вторых, для обеспечения возможности сравнения получаемых результатов при различных допустимых понижениях и сроках эксплуатации. Значение S/Q (согласно графикам на рис. 2) на срок эксплуатации 20 лет составляет

$70 \cdot 10^{-5}$, на срок 25 лет – $76 \cdot 10^{-5}$ при очень высокой достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9705$. Эксплуатационные расходы ($\text{м}^3/\text{сут}$) при различных понижениях $S_{\text{дон}}$ равны:

$$Q_3 = \frac{S_{\text{дон}}}{70 \cdot 10^{-5}} = 71400 \quad (S_{\text{дон}} = 50 \text{ м});$$

$$78600 \quad (S_{\text{дон}} = 55 \text{ м}) \text{ и } 85700 \quad (S_{\text{дон}} = 60 \text{ м});$$

$$Q_3 = \frac{S_{\text{дон}}}{76,0 \cdot 10^{-5}} = 65800 \quad (S_{\text{дон}} = 50 \text{ м});$$

$$72400 \quad (S_{\text{дон}} = 55 \text{ м}) \text{ и } 78900 \quad (S_{\text{дон}} = 60 \text{ м}).$$

Аналитический расчет ($S_{\text{дон}} = 60 \text{ м}$, срок эксплуатации $t = 9125 \text{ сут}$) дает аналогичный результат ($\text{м}^3/\text{сут}$):

$$\begin{aligned} Q_3 &= \frac{k_m \cdot S_{\text{дон}}}{0,183(\lg \frac{2,25a}{R_o^2} + \lg t)} = \\ &= \frac{326,8 \cdot 60}{0,183(-2,6 + \lg 9125)} = 78800. \end{aligned}$$

Применение в качестве расчетного (допустимого) понижения величин 50 м – по методу аналогов и 60 м – по методу обобщенных параметров сделано для создания резерва надежности. Превышение же допустимых понижений сверх 50–60 м нецелесообразно, несмотря на значительно более высокую доказанную мощность обводненных трещиноватых и закарстованных пород на участке (120–130 м).

Таким образом, практически идентичные результаты, полученные по методу аналогов и обобщенных параметров, позволяют считать расход водозабора в объеме 78,3 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ эксплуатационными запасами Западного участка Эскулинского месторождения на последующие (начиная с 2007 г.) 25 лет эксплуатации. Это количество обосновано с высокой степенью достоверности, с применением жестких расчетных схем и параметров, причем полученных исключительно по опыту эксплуатации действующего водозабора в течение 30 лет.

Включение в состав водозабора дополнительных скважин не будет являться изменением схемы водозабора, поскольку все они будут расположены практически в пределах “естественной дрены”, которая являлась базовой схемой для подсчета по методу аналогов. Реально протяженность этой дрены существенно выше принятых в расчет 15,2 км, если оценивать ее длину в пределах зоны с понижениями уровней более 25, а

не 30 м. Что касается количества скважин, необходимых для обеспечения дополнительного водоотбора, то оно не будет превышать 2–3.

Здесь следует повторить, что уже при задействованном количестве эксплуатационных скважин в 1981 г. был обеспечен водоотбор в количестве 71 тыс. м³/сут, что превышает 90 % от проектного (расчетного). При этом каких-либо резких гидродинамических изменений в системе не зафиксировано.

Качество подземных вод соответствует всем действующим нормативам и стандартам для питьевых вод, благоприятным является также прогноз его изменения на последующий срок, что позволяет отнести эксплуатационные запасы участка к высоким промышленным категориям.

Исходя из вышеизложенного, в соответствии с Методическими рекомендациями и Инструкциями ГКЗ РК и степенью изученности, к категории А отнесены эксплуатационные запасы Западного участка, равные фактическому среднегодовому расходу водозабора на первом этапе эксплуатации в количестве 56,4 тыс. м³/сут. Разницу между расчетным (проектным) расходом (78,3 тыс. м³/сут) и запасами категории А в количестве 21,9 тыс. м³/сут следует квалифицировать по категории В.

Таким образом, прогноз водоотбора Западно-Эскулинским водозабором, выполненный на основе простых экстраполяционных схем, обоснованных 30-летним сроком эксплуатации водозабора, обеспечил значения эксплуатационных запасов подземных вод, практически точно соответствующих запасам, установленным методом моделирования. С одной стороны, это подтверждает высокую достоверность результатов моделирования, а с другой – экстраполяционные схемы не способны не только полностью заме-

нить метод моделирования, но и даже конкурировать с ним по возможностям детализации (пространственной и временной) условий формирования эксплуатационных запасов подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов Ж., Бураков М.М., Романова Н.П., Дзюман В.И. К оценке водопритоков и эксплуатационных запасов подземных вод по данным шахтного водоотлива // Вестник АН КазССР. 1985. 17 с. Деп. в ВИНТИ 01.08.1985 г., № 5725-85.
2. Боревский Б.В., Хордикайнен М.А., Язвин Л.С. Разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений подземных вод в трещинно-карстовых пластах. М.: Недра, 1976. 248 с.
3. Бураков М.М. Исследование водоотбора в неоднородных по фильтрационным и емкостным свойствам водносных пластах (на примере месторождений Центрального Казахстана): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. н. Алматы, 1987. 25 с.
4. Грабовников В.А., Зильберштейн Б.М. Оценка эксплуатационных запасов на основе обобщенных параметров // Разведка и охрана недр. 1966. № 5. С. 43–48.
5. Доманова Н.И. Формирование и прогноз водопритоков в горные выработки, пройденные в фильтрационно-неоднородных карбонатных породах (на примере Эстонского месторождения горючих сланцев): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. н. М.: 1986. 18 с.
6. Кочетков М.В. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод по данным шахтного водоотлива на примере Жайремского полиметаллического месторождения // ЭИ. ВИЭМС. Гидрогеология и инженерная геология. 1979. Вып. 9. С. 11–24.

Резюме

Жезқазған тау-өндіріс ауданындағы Есқұла жерасты су кенорын жыл бойы пайдалану нәтижесі бойынша жерасты су қоры гидравикалық әдіспен қайта есептелді.

Summary

Based on performance results of many years of operation of the Eskulinsky underground water deposit in Zhezkazgan mining and industrial area, the underground water reserves have been re-estimated by virtue of hydraulic method.

УДК 556.332.52:551.7(574.32)

ТОО «ГЕОРИД»,
г. Алматы

Поступила 25.12.09г.