



А.В. Малков
д-р техн. наук
ООО «Нарзан-гидроресурсы»¹
директор
apol.malkov@yandex.ru



И.М. Першин
д-р техн. наук
профессор
Северо-Кавказский
федеральный университет,
филиал в г. Пятигорске²
заведующий кафедрой
«Управление в технических и
биомедицинских системах»
ivmr@yandex.ru



И.С. Помеляйко
канд. техн. наук
ООО «Нарзан-гидроресурсы»¹
ведущий инженер-гидрогеолог
iripomelyayko@rambler.ru

Методика подсчета запасов и баланса подземных вод гидравлическим методом

¹Россия, 357700, Ставропольский край, Кисловодск, ул. Кирова, 43; ²Россия, 357500, Ставропольский край, Пятигорск, ул. 40 лет Октября.

В статье предложен универсальный гидравлический метод подсчета запасов подземных вод. Предложена методика расчета баланса подземных вод в условиях гидравлической связи водоносных горизонтов. Методика была опробована на объекте IV группы сложности – Березовском участке Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод

Ключевые слова: гидравлический метод; подсчет запасов; расчет баланса; подземные воды; Кисловодское месторождение минеральных вод

При изучении или подсчете запасов подземных вод (ПВ), одиночных водозаборов или компактных групп скважин, расположенных в сложных гидрогеологических условиях, обычно это IV группа сложности по классификации ГКЗ РФ [1], используется гидравлический метод подсчета запасов. Гидравлика – наиболее точный метод, позволяющий

по фактическим данным дать прогноз на некоторую перспективу, однако у гидравлического метода есть два серьезных недостатка. Во-первых, неясно, как прогнозировать временную составляющую, поскольку она определяет динамику развития срезки уровня, вызванную временем, во-вторых – гидравлика не дает возможности рассчитать баланс ПВ, что затрудняет расчет прогнозирования ми-

Схема	Схема пласта, граничные условия	Характеристика временной срезки
1	Неограниченный пласт, полуограниченный пласт, пласт-квадрант с непроницаемыми границами	$\Delta S(t) = f(Lg(t))$
2	Пласт-полоса с двумя параллельными непроницаемыми границами	$\Delta S(t) = f(\sqrt{t})$
3	Пласт-круг с непроницаемым контуром (мульда)	$\Delta S(t) = f(t)$
4	Пласты с контуром постоянного напора	$\Delta S(t) = 0$

Таблица 1.
Характеристика временной срезки от граничных условий

нерализации, а при прогнозировании состава минеральных вод этот фактор бывает зачастую определяющим.

Авторами приводится опыт прогнозирования состава минеральных вод на примере Березовского участка Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод [2].

Для изолированных в разрезе водоносных горизонтов известны четыре схемы, которыми можно описать любые краевые условия, они приведены в **табл. 1**.

Если граничные условия пласта известны, то, проследив динамику понижения уровня за период опытно-фильтрационных работ, можно дать обоснованный прогноз развития дополнительной срезки уровня в перспективе, применяя в зависимости от граничных условий одну из перечисленных схем. Строго говоря, такой подход правильнее назвать комбинированным, поскольку временная срезка рассчитывается все-таки гидродинамическим методом.

Ситуация существенно осложняется тем, что в условиях малой изученности или в сложных геологических условиях роль границ не всегда может быть установлена достоверно, а следовательно, и прогнозные оценки не могут быть обоснованы достаточно объективно. Кроме того, описанные закономерности справедливы для изолированных в разрезе пластов, что в большинстве случаев на практике не выдерживается. Водоупорные слои, разделяющие толщу горных пород на более или менее самостоятельные водоносные горизонты, являются относительными и в той или иной мере обеспечивают гидравлическую связь горизонтов. Если ко всему прочему добавить еще и воздействие инфильтрационного питания, имеющего сезонную и трендовую составляющие, то прогнозирование динамики уровня становится проблематичным.

Предлагается общее решение, объединяющее все указанные схемы, и учитывающее, в том числе, и гидравлическое взаимодействие пластов.

При выполнении условия $f_0 \geq 500$, ($f_0 = a^*t/r^2$, где: a^* – пьезопроводность; r – радиус до точки наблюдения), в схеме 1 (**табл. 1**), логарифмическая функция может быть заменена степенной [3]:

$$Lg(f_0) = \alpha \cdot (f_0)^\beta, \quad (1)$$

где α и β – некоторые эмпирические коэффициенты. При такой замене практически для всего диапазона реально встречаемых фильтрационных параметров и сроков прогнозирования, среднеквадратическая погрешность не превышает 5%.

То же самое можно сказать и об остальных схемах.

Понижение уровня при возмущении скважины с постоянным дебитом, например, для первой схемы, описывается уравнением:

$$S(t) = \frac{Q}{n \cdot km} Lg(f_0), \quad (2)$$

где n – коэффициент, определяемый краевыми условиями пласта ($n = 4\pi$ – неограниченный пласт), ($n = 2\pi$ – полуограниченный), ($n = \pi$ – пласт-квадрант); km – водопродимость водоносного горизонта; Q – дебит откачки ($Q = const$).

Выражение (2) с учетом (1) можно представить следующим образом:

$$S(t) = \frac{Q}{n \cdot km} \alpha \cdot (f_0)^\beta. \quad (3)$$

Прологарифмировав обе части уравнения (3) получим (4):

$$LgS(t) = Lg \frac{Q \cdot \alpha}{n \cdot km} + \beta \cdot Lg \left(\frac{2,25 \cdot \alpha^*}{r^2} \right) + \beta \cdot Lg(t).$$

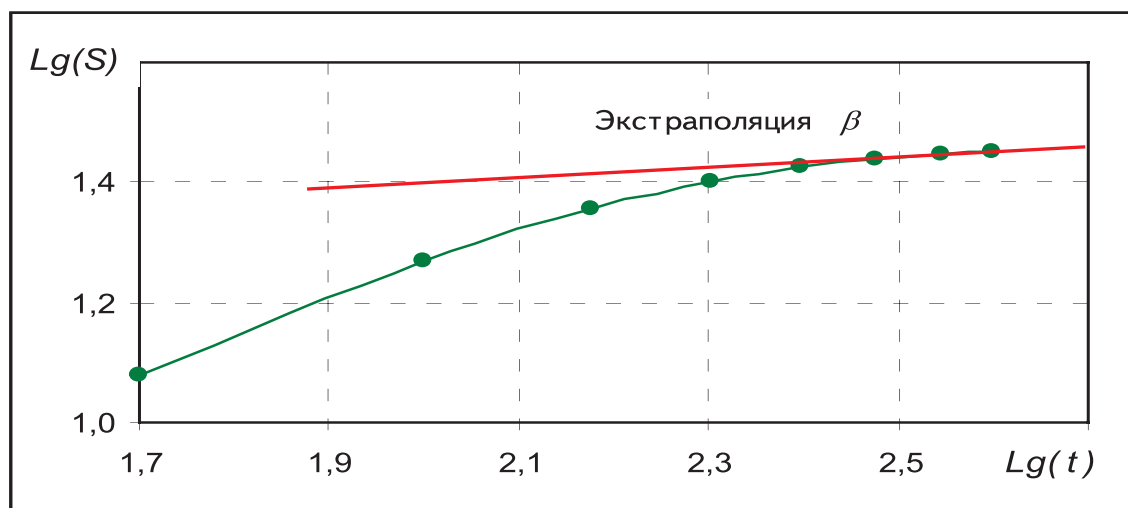


Рис. 1.
Экстраполяция коэффициента β при наличии перетекания из смежных горизонтов

Объединив константы, уравнение (4) можно записать в ином виде:

$$Lg[S(t)] = A + \beta \cdot Lg(t). \quad (5)$$

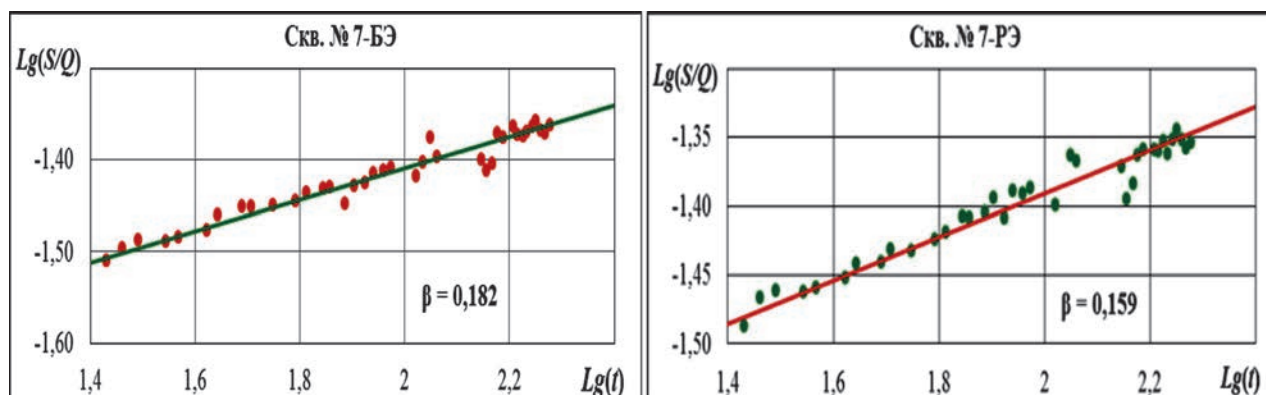
Гидравлический метод, как уже указывалось, предполагает, что в процессе опытных работ продолжительностью (t_0) в заданном режиме водоотбора будет достигнуто некоторое понижение (S_0), которое фиксируется. Конечное понижение $S(t_k)$ рассчитывается исходя из характера развития временной срезки. То есть, в уравнении (1) первые два члена в правой части устанавливаются опытным путем непосредственными измерениями. Тогда из уравнения (5) можно получить:

$$LgS(t_k) - LgS(t_0) = \beta \cdot Lg(t_k) - \beta \cdot Lg(t_0),$$

откуда, после преобразований:

$$S(t_k) = S(t_0) \cdot \left(\frac{t_k}{t_0} \right)^\beta. \quad (6)$$

Рис. 2.
Логарифмические графики понижения



Если дебит скважины не выдерживался постоянным, что вполне естественно при откачке воды с помощью погружного насосного оборудования, то (6) следует представить в несколько ином виде:

$$S(t_k) = \bar{C}_0 \cdot Q(t) \cdot \left(\frac{t_k}{t_0} \right)^\beta, \quad (7)$$

где $\bar{C}_0 = S_0 / Q_0$ – удельное понижение скважины на момент (t_0).

Эмпирический коэффициент (β) определяется из непосредственных наблюдений за динамикой развития понижения. Он равен угловому коэффициенту графика, построенного в координатах $LgS(t)/Q(t) \div Lg(t)$ по данным откачки. При этом характер граничных условий будет учтен этим же эмпирическим коэффициентом при условии, что продолжительность откачки достаточная, чтобы проявилось влияние границ. Из этих соображений требование нормативных документов, согласно которому устанавливается не менее чем годичный срок опытных работ, представляется вполне обоснованным.

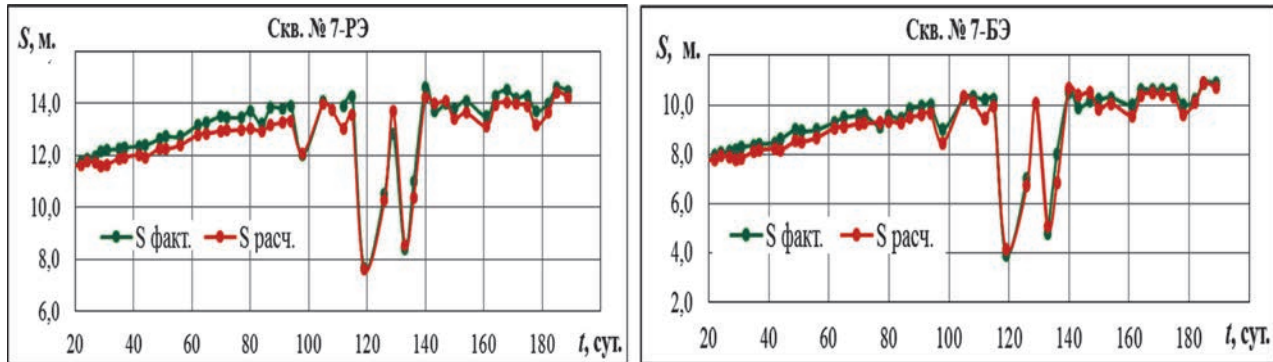


Рис. 3.
Сопоставление расчетных и фактических понижений уровня

В той или иной степени водоупорные отложения, разделяющие водоносные горизонты, являются проницаемыми и обеспечивают гидравлическую связь со смежными. Количественно степень взаимодействия горизонтов характеризуется параметром перетекания (b). В условиях гидравлической связи горизонтов динамика формирования понижения уровня для неограниченного в плане пласта описывается уравнением Тейса, которое при квазистационарном режиме, и выполнении условий ($r^2/4a^*t \leq 0,1$), и $r/B \leq 0,2$ ($B = \sqrt{km/b}$), может быть представлено следующим образом [4]:

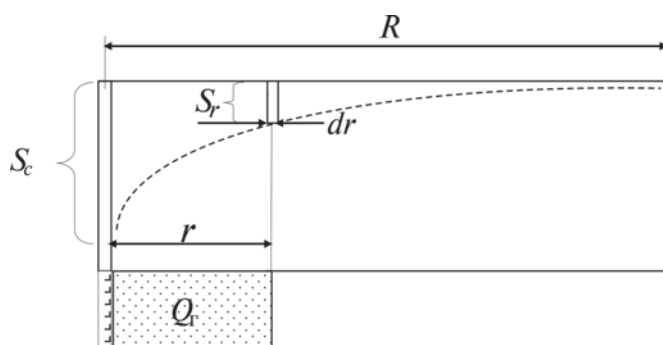
$$S = \frac{0,183 \cdot Q}{km} Lg \left(\frac{2,25a^* \cdot t}{r^2 \cdot (1 + 1,78 \frac{b}{\mu^*} t)} \right), \quad (8)$$

где μ^* – водоотдача пласта, остальные обозначения прежние.

Из (8) можно выразить радиус влияния скважины (9):

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{a^* \cdot t}{1 + 1,78 \cdot b \cdot t / \mu^*}} = 1,5 \sqrt{\frac{km}{\mu^* / t + 1,78 \cdot b}}$$

Рис. 4.
Расчетная схема



При больших (t) зависимость (9) переходит в хорошо известную формулу:

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{a^* \cdot t}{(1 + 1,78 \cdot b \cdot t / \mu^*)}} = 1,12 \sqrt{\frac{km}{b}},$$

что предполагает развитие стационарного режима фильтрации. Если в пределах этого радиуса нет каких-либо границ, то пласт можно рассматривать как бесконечный с перетеканием. Обозначив $t_p = t / (1 + 1,78 \cdot b \cdot t / \mu^*)$ через расчетное время, получим решение, принципиально ничем не отличающееся от первой схемы **табл. 1**, которое можно интерпретировать аналогично, заменив абсолютное время опыта на расчетное. В этом случае возникает необходимость в определении соотношения параметров (b/μ^*), что можно выполнить, используя комбинацию методов подбора и временного прослеживания [4].

При наличии перетекания совместное воздействие границ в плане и разрезе приводит к деформации графиков временного прослеживания, приводя их к выполаживанию, а при больших параметрах перетекания – к довольно быстрому наступлению стационарного режима. То есть, график, построенный в координатах $Lg(S) \div Lg(t)$, будет иметь нелинейный характер. Это можно проиллюстрировать графически (**рис. 1**). В соответствии с принципом предельных случаев Нельсон-Скорнякова [5], решение окажется в известном диапазоне между достигнутым понижением уровня и расчетным, полученным по уравнению (7).

В этом случае экстраполяция параметра β производится линейно по самому последнему участку наблюдений данных ОФР. При таком подходе расчетные понижения будут всегда немного больше фактических, чем обеспечивается некоторый инженерный запас, и в то же время достигается достаточно высокая точность расчетов.

t оп	lgt	Q м ³ /сут.	H _{7-ПЭ} , м	H _{7-БЭ} , м	S/Q 7-ПЭ	S/Q 7-БЭ	Lg(S/Q) 7-ПЭ	Lg(S/Q) 7БЭ	H _{расч.} 7-ПЭ	H _{расч.} 7-БЭ
0,0			3,5	0,1						
19,8854	1,2985	269	11,62	7,76	0,0302	0,0285	-1,5202	-1,5455	11,76	8,07
26,934	1,4303	259,4	11,96	8,12	0,0326	0,0309	-1,4866	-1,5098	11,86	8,17
30,9167	1,4902	251,57	12,2	8,3	0,0346	0,0326	-1,4611	-1,4868	11,79	8,1
34,9271	1,5432	253,84	12,26	8,36	0,0345	0,0325	-1,4621	-1,4876	12,03	8,33
36,9063	1,5671	253,14	12,3	8,4	0,0348	0,0328	-1,4589	-1,4843	12,08	8,38
41,9271	1,6225	250,36	12,36	8,48	0,0354	0,0335	-1,4511	-1,4753	12,16	8,46
48,9271	1,6895	251,8	12,64	9,02	0,0363	0,0354	-1,4401	-1,4507	12,43	8,71
50,9271	1,7069	249	12,73	8,94	0,0371	0,0355	-1,431	-1,4497	12,39	8,67
55,9271	1,7476	249,8	12,73	8,99	0,0369	0,0356	-1,4324	-1,4487	12,55	8,83
64,9375	1,8125	255,78	13,27	9,49	0,0382	0,0367	-1,418	-1,4352	12,99	9,26
69,9271	1,8446	255,73	13,51	9,57	0,0391	0,037	-1,4074	-1,4314	13,1	9,36
71,9271	1,8569	255	13,46	9,59	0,0391	0,0372	-1,4083	-1,4293	13,12	9,38
76,934	1,8861	253,05	13,47	9,14	0,0394	0,0357	-1,4045	-1,447	13,15	9,41
79,9271	1,9027	252,92	13,71	9,56	0,0404	0,0374	-1,394	-1,4271	13,2	9,46
83,934	1,9239	248,32	13,2	9,44	0,0391	0,0376	-1,4082	-1,4247	13,1	9,36
90,9688	1,9589	253,3	13,8	9,93	0,0407	0,0388	-1,3908	-1,4111	13,42	9,67
97,9271	1,9909	220,25	12	9	0,0386	0,0404			12,23	8,52
104,9271	2,0209	265,71	14,11	10,27	0,0399	0,0383	-1,3987	-1,4171	14,15	10,37
107,9479	2,0332	258,54		10,35		0,0396		-1,4018	13,91	10,14
111,9479	2,049	239,75	13,9	10,2	0,0434	0,0421	-1,3627	-1,3754	13,21	9,46
114,9271	2,0604	251,41	14,3	10,2	0,043	0,0402	-1,367	-1,3961	13,72	9,96
118,9271	2,0753	102,75	7,68	3,95	0,0407	0,0375	-1,3906	-1,4263	7,7	4,15
125,9271	2,1001	167	10,5	7	0,0419	0,0413	-1,3776	-1,3839	10,39	6,75
128,9479	2,1104	250	12,83		0,0373	-0,0004	-1,4281		13,85	10,09
132,9479	2,1237	123,63	8,38	4,8	0,0395	0,038	-1,4037	-1,42	8,65	5,06
135,9479	2,1334	167,33	11	8	0,0448	0,0472	-1,3485	-1,326	10,49	6,84
139,9479	2,146	260,75	14,6	10,5	0,0426	0,0399	-1,3709	-1,3992	14,44	10,65
142,9688	2,1552	252,91	13,69	9,9	0,0403	0,0387	-1,3948	-1,4117	14,15	10,37
146,9479	2,1672	254,32	14,01	10,15	0,0413	0,0395	-1,3838	-1,4032	14,26	10,47
149,9479	2,1759	237,67	13,8	10,21	0,0433	0,0425	-1,3631	-1,3712	13,58	9,83
153,9479	2,1874	242	14,1	10,3	0,0438	0,0421	-1,3585	-1,3752	13,81	10,05
160,9479	2,2067	228,14	13,5	10	0,0438	0,0434	-1,3582	-1,3626	13,29	9,54
163,9479	2,2147	247	14,3	10,6	0,0437	0,0425	-1,3593	-1,3715	14,13	10,35
167,9479	2,2252	248,25	14,52	10,61	0,0444	0,0423	-1,3527	-1,3733	14,22	10,45
170,9479	2,2329	246	14,2	10,62	0,0435	0,0428	-1,3616	-1,3689	14,16	10,38
177,9479	2,2503	225,33	13,7	10	0,0453	0,0439	-1,3442	-1,3572	13,33	9,58
181,9479	2,2599	235,75	14	10,2	0,0445	0,0428	-1,3513	-1,3681	13,82	10,05
188,9479	2,2763	248,46	14,5	10,9	0,0443	0,0435	-1,3539	-1,3618	14,44	10,65

Таблица 2.
Результаты опытных работ по Березовскому участку, 2015 г.

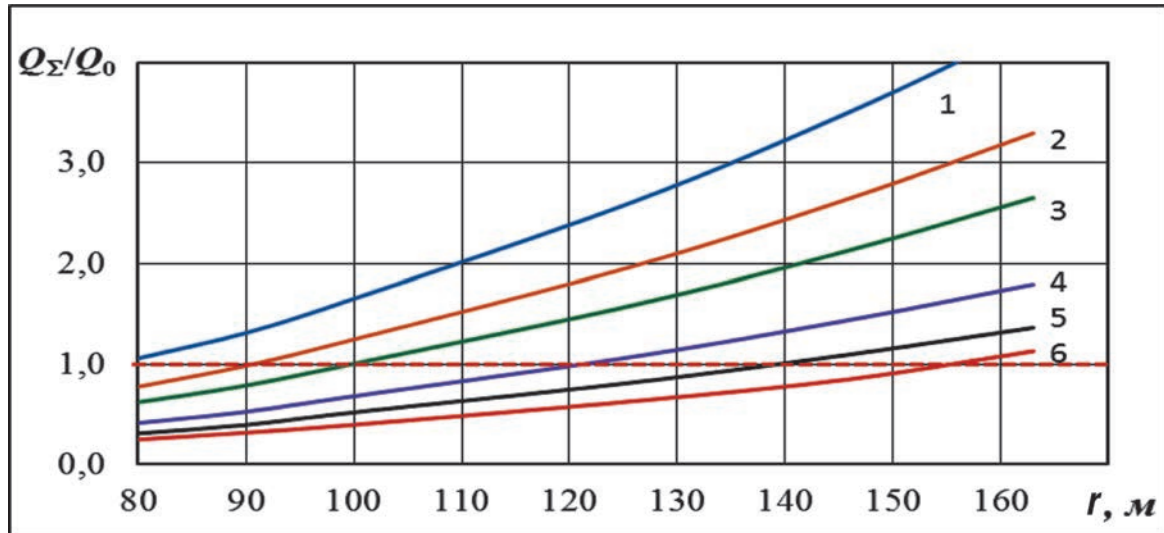


Рис. 5.

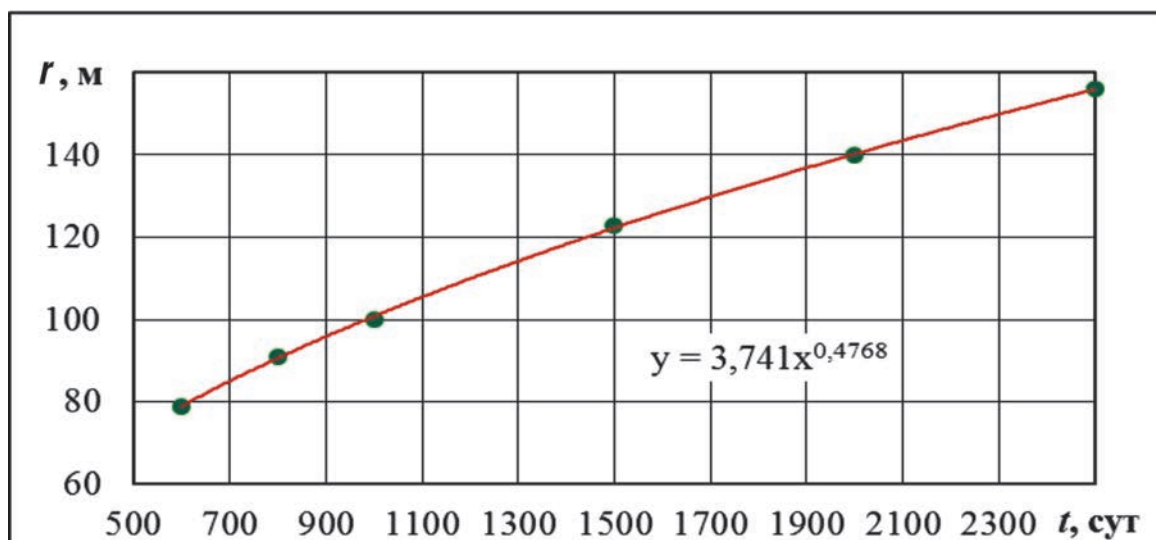
Зависимость радиуса водоотбора на различные моменты времени: 1 – $t = 600$ сут; 2 – $t = 800$ сут; 3 – $t = 1000$ сут; 4 – $t = 1500$ сут; 5 – $t = 2000$ сут; 6 – $t = 2500$ сут

В качестве примера расчета можно рассмотреть интерпретацию опытных работ периода 2014–2015 гг. (табл. 2). Откачка проводилась из скв. 7-РЭ со средним дебитом около $250 \text{ м}^3/\text{сут}$. По данным таблицы построены логарифмические графики (рис. 2) по скв. 7-РЭ и 7-БЭ. Линейной корреляцией для них определены угловые коэффициенты: $\beta_{7-РЭ} = 0,16$; $\beta_{7-БЭ} = 0,18$ (рис. 2). Далее по уравнению (7) рассчитаны положения уровня на различные моменты времени. Расчетные формулы, с учетом полученных коэффициентов, имеют вид:

$$H_{7-БЭ} = 3,5 + 0,0302 \cdot Q \left(\frac{t}{19,885} \right)^{0,16}, \quad (10)$$

Рис. 6.

Зависимость радиуса водоотбора от времени



$$H_{7-БЭ} = 0,1 + 0,0285 \cdot Q \left(\frac{t}{19,885} \right)^{0,18}$$

Сопоставление прогнозных и фактических понижений уровня, рассчитанных по данным эпитгноза по (10), изображены на рис. 3. Как следует из рисунка, сходимость результатов весьма хорошая.

Оценку баланса ПВ можно получить из следующих соображений.

Положим, что формирование общего водоотбора (Q_0) поддерживается из составляющих: геометрического объема осушенного пласта (Q_r); упругих запасов (Q_{μ}) и за счет перетекания (Q_b):

$$Q_0 = Q_3 + Q_{1/2} + Q_b \quad (11)$$

t, сут.	r, м	Q _{и*}	Q _b	Q _r
600	79	0,1	2,5	97,4
800	91	0,1	3,13	96,77
1000	100	0,1	3,63	96,27
1500	123	0,1	4,89	95,01
2000	140	0,05	6,1	93,85
2500	156	0,04	7,17	92,79
5000	204	0,02	19,9	80,08

Таблица 3.
Баланс подземных вод (%), скв. 7-РЭ

или

$$\begin{cases} \frac{Q_3}{Q_0} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot km}{k / n_a \cdot Q_0 \cdot t} \\ \frac{Q_b}{Q_0} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot S_{cp} \cdot b}{Q_0} \\ \frac{Q_{1/4^*}}{Q_0} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot S_{cp} \cdot 1/4^*}{Q_0 \cdot t} \end{cases}, \quad (12)$$

где S_{cp} – среднее снижение уровня в пределах радиуса r на момент времени t ; k – коэффициент фильтрации; km – водопроницаемость пласта; n_a – активная пористость; μ^* – упругая водоотдача пласта.

Из (11, 12) можно получить соотношения балансовых составляющих ПВ.

Однако в выражении (12) неясной остается величина S_{cp} . Ее можно определить следующим образом. Рассмотрим схему (рис. 4). Здесь пунктиром изображена кривая депрессионной воронки, которая возникает при откачке из скважины.

В данном случае среднее понижение (S_{cp}) есть такое понижение, при котором объем фигуры, заключенный между нулевым понижением и кривой депрессии, будет равен объему цилиндра такого же радиуса (r) и высотой (S_{cp}). С этой целью выделим элементарный объем (dr) на расстоянии (r) от скважины. Элементарный объем кольца будет равен:

$$dV = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot S_r \cdot dr. \quad (13)$$

Понижение уровня (S_r) может быть определено по формуле Дюпюи [6]:

$$S_r = \frac{Q_0}{2 \cdot \pi \cdot km} \operatorname{Ln} \frac{R}{r}. \quad (14)$$

С учетом (14), (13) может быть записано в следующем виде:

$$dV = r \cdot \frac{Q_0}{km} \operatorname{Ln} \frac{R}{r} \cdot dr \quad \text{или}$$

$$V = \int_{r_c}^r \frac{Q_0}{km} \operatorname{Ln} \frac{R}{r} \cdot r \cdot dr. \quad (15)$$

Интегрируя (15) и отбрасывая малые члены, можно получить:

$$V = \frac{Q_0 \cdot r^2}{4 \cdot km} \left(\operatorname{Ln} \frac{R^2}{r^2} + 1 \right).$$

Полагая, с другой стороны, $V = \pi \cdot r^2 \cdot S_{cp}$, найдем (S_{cp}) (16):

$$S_{cp} = \frac{Q_0}{2 \cdot \pi \cdot km} \operatorname{Ln} \frac{\sqrt{e} \cdot R}{r} = \frac{Q_0}{2 \cdot \pi \cdot km} \operatorname{Ln} \frac{1,65 \cdot R}{r}.$$

В условиях гидравлической связи рассматриваемого горизонта с соседними величина радиуса влияния (R) может быть определена по формуле [3]:

$$R = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{a^* \cdot t}{(1 + 1,78 \frac{b}{1/4^* t})}},$$

а при наличии данных – по фактическим материалам.

В конечном итоге (12) можно переписать следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{Q_3}{Q_0} = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot km}{k / n_a \cdot Q_0 \cdot t} \\ \frac{Q_b}{Q_0} = \frac{r^2 \cdot b}{2 \cdot km} \operatorname{Ln} \frac{1,65 \cdot R}{r} \\ \frac{Q_{1/4^*}}{Q_0} = \frac{r^2 \cdot 1/4^*}{2 \cdot km \cdot t} \operatorname{Ln} \frac{1,65 \cdot R}{r} \end{cases}. \quad (17)$$

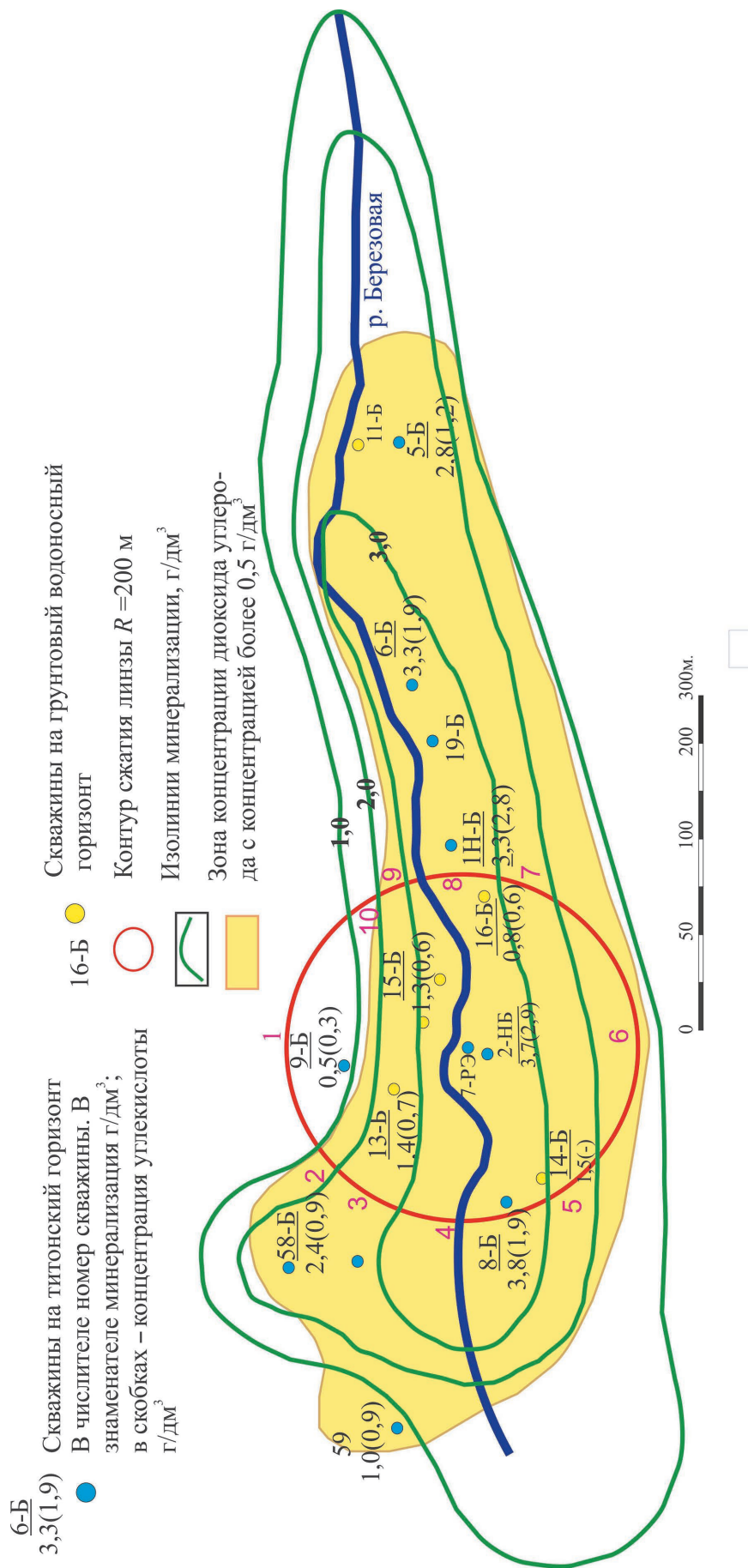


Рис. 7.
Схема Верхнеберезовского участка

№	Длина дуги L , см	Средняя минерализация m , г/дм ³	$L \times m$
1	4,5	0,5	2,3
2	0,5	1,5	0,8
3	1,3	2,5	3,3
4	2,7	3,3	8,9
5	0,7	1,5	1,1
6	0,8	1,5	1,2
7	4,4	2,5	11,0
8	0,5	1,5	0,8
9	1,0	2,5	2,5
10	1,6	3,3	5,3
	18,0	М ср. г/дм ³	2,07

Таблица 4.
Расчет средней минерализации

Рассмотрим соотношение водопритоков к скв. 7-РЭ на границе контура, соответствующего отбору объема воды из пласта радиусом (r). Схема представлена на **рис. 4**. Естественно, величина его во времени будет увеличиваться, и здесь возникают проблемы с оценкой соотношения времени и радиуса. Задачу можно решить методом подбора. Задаваясь различными значениями радиуса и времени, можно построить серию графиков, для которых следует рассчитать параметры баланса $Q_{\text{п}}; Q_b; Q_r$ по (17). Расчеты представлены графически на **рис. 5**. Параметры горизонта определены по данным опытно-фильтрационных и миграционных работ: $km = 29 \text{ м}^2/\text{сут}$; $\mu^* = 0,0014$; $k/n_a = 3,76 \text{ м}/\text{сут}$; $b = 0,00009 \text{ сут}^{-1}$; $Q_0 = 250 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Из условия $\frac{Q_{\text{п}}}{Q_0} + \frac{Q_b}{Q_0} + \frac{Q_r}{Q_0} = 1,0$ по графику 5 можно установить зависимость между радиусом сжатия линзы в пласте и временем откачки. Он изображен на **рис. 6**.

Расчет баланса представлен в табличной форме (**табл. 3**).

Расчеты показывают, что в основном формирование запасов ПВ происходит преимущественно за счет водоотбора из геометрических объемов водоносного горизонта. Водоприток из смежных горизонтов составляет 7,17%, однако величина его увеличивается. Как показывают расчеты, на конец расчетного периода перетоки из смежных горизонтов будут достигать 19,9%. Что касается упругих запасов, то их величина не превышает 0,1%, причем во времени их доля снижается. Это означает, что через более или менее непродол-

жительное время режим фильтрации перейдет в стационарный.

Для прогноза на 10 лет радиус влияния оказывается равным 204 м. Иными словами, соотношение водопритоков на период 10 лет составляет по упругой водоотдаче – 0,02%; по перетокам из смежных горизонтов – 19,9%; из геометрического объема – 80,01%. При этом радиус отбора будет равен 204 м.

Схема Верхнеберезовского участка изображена на **рис. 7**.

Расчеты минерализации даны в **табл. 4**. Необходимо учесть, что около 20 % минерализации поступает из верхнего валанжина, где ее значение составляет всего 1,4 г/дм³. Учитывая это, среднее значение минерализации на конец расчетного периода будет равно:

$$M_{\text{ср}} = \frac{2,07 \cdot 0,8 + 0,2 \cdot 1,4}{1,0} = 1,94 \text{ г}/\text{дм}^3.$$

Необходимо отметить что в целом конечное значение минерализации отвечает требованиям ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые», хотя и на нижнем пределе (по ГОСТ Р 54316-2011 значение минерализации по нижнему пределу равно 2,0 г/дм³). Однако необходимо учитывать, что попадая в зону развития растворенного диоксида углерода, концентрация минеральных вод довольно быстро нарастает, и в целом можно констатировать, что значение ее фактически будет больше за счет ионно-обменных процессов и растворения горных пород. По опыту миграционных исследований, выполненных в 2004 г, скорость нарастания минерализации сопоставима со скоростью фильтрации флюидов. ❀

Литература

1. Методические рекомендации по применению Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод. Приказ МПР РФ от 30.07.2007 № 195. Доступно на: <http://files.stroyinf.ru/Data1/53/53011/> (обращение 13.05.2016).
2. Малков А.В., Першин И.М., Помеляйко И.С. и др. Кисловодское месторождение углекислых минеральных вод: Системный анализ, диагностика, прогноз, управление. М.: Наука. 2015. 283 с.
3. Малков А.В. Гидравлический метод оценки эксплуатационных запасов подземных вод //Разведка и охрана недр. 2009. № 11. С. 45–50.
4. Малков А.В. Определение гидродинамических параметров водоносных горизонтов в условиях перетекания //Известия Вузов. Геология и разведка. 2007. № 1. С. 31–34.
5. Справочное руководство гидрогеолога / Под ред. В.М. Максимова. Ленинград: Недра. 1967. Т. 1. 570 с.
6. Силин-Бекчурин А. И. Динамика подземных вод (с основами гидравлики). М.: МГУ. 1965. 380 с.

UDC 556.3

A.V. Malkov, Doctor of Technical Sciences, Director of Limited Liability Company “Narzan–hydroresources”¹, anatol.malkov@yandex.ru

I.M. Pershin, Doctor of Technical Sciences, Head of the department “Management in technical and biomedical systems” of North–Caucasian Federal University, a branch in the town of Pyatigorsk², ivmp@yandex.ru

I.S. Pomelyayko, PhD, Leading Engineering and Hydrogeology of Limited Liability Company “Narzan–hydroresources”¹, irinapomelyayko@rambler.ru

¹43 Kirov street, Kislovodsk, Stavropol region, 357700, Russia;

²Street 40 October, Pyatigorsk, Stavropol region, 357500, Russia.

The algorithm of calculating the reserves and balance of groundwater hydraulic method

Abstract. This paper proposes a method for calculating the universal hydraulic underground water reserves. The method of calculating the balance of groundwater in a hydraulic connection aquifers. The proposed method has been tested on the object Group IV complexity – Berezovsky plot Kislovodsk deposit carbonate mineral waters.

Keywords: hydraulic method; calculation of reserves; balance calculation; groundwater; Kislovodsk mineral waters

References

1. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniuiu Klassifikatsii zapasov i prognoznykh resursov pit'evykh, tekhnicheskikh i mineral'nykh podzemnykh vod. Prikaz MPR RF ot 30.07.2007 № 195* (Guidelines on the application of the Classification of reserves and resources of potable, industrial and mineral underground waters. Order of the Ministry of Natural Resources of 30.07.2007 number 195.). Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data1/53/53011/> (accessed 13 May 2016).
2. Malkov A.V., Pershin I.M., Pomeliayko I.S. i dr. *Kislovodskoe mestorozhdenie uglekislykh mineral'nykh vod: Sistemnyi analiz, diagnostika, prognoz, upravlenie* [Kislovodsk deposit of carbonic mineral water: System analysis, diagnosis, prognosis, management.]. Moscow, Nauka Publ., 2015, 283 p.
3. Malkov A.V. Gidravlicheskiy metod otsenki ekspluatatsionnykh zapasov podzemnykh vod [Hydraulic method for assessing the performance of groundwater reserves]. *Razvedka i okhrana neдр*, 2009, no. 11, pp. 45–50.
4. Malkov A.V. Opredelenie gidrodinamicheskikh parametrov vodonosnykh gorizontov v usloviakh peretekaniia [Determination of hydrodynamic parameters of aquifers in overflow conditions]. *Izvestiia Vuzov. Geologiya i razvedka*, 2007, no. 1, pp. 31–34.
5. *Spravochnoe rukovodstvo gidrogeologa* [Hydrogeologist Reference Guide]. Pod red. V.M. Maksimova. Leningrad, Nedra Publ., 1967, vol. 1, 570 p.
6. Silin-Bekchurin A. I. *Dinamika podzemnykh vod (s osnovami gidravliki)* [The dynamics of groundwater (the basics of hydraulics)]. Moscow, MGU Publ., 1965, 380 p.