

V. ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ОХРАНА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 556.3: 551.482

Ю.И. Владимирова, С.Н. Елохина

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод (ЭЗПВ) является ключевым моментом при выполнении поисково-разведочных работ на различных стадиях гидрогеологических исследований, а также при выдаче государственной лицензии на водопользование, когда запасы месторождения или водозаборного участка рассматриваются как товар. В этой связи изучение методов оценки ЭЗПВ студентами специальности "Поиски и разведка подземных вод" приобретает особую значимость.

Как известно [1], методы оценки ЭЗПВ по своему подходу подразделяются на четыре группы: гидравлические, гидродинамические, балансовые и аналогии. Причем только балансовые методы основаны на суммарном учете либо питания, либо разгрузки подземных вод.

Для каждого типа гидрогеологического района с характерными условиями питания и разгрузки подземных вод могут существовать свои особые рекомендации по оценке эксплуатационных запасов. Для горноскладчатой части Урала, где в естественных условиях подземные воды формируют 25-40 % общего речного стока путем их разгрузки в русловую сеть, в ходе выполнения многолетних практических исследований в Уральской гидрогеологической экспедицией разработан оригинальный метод оценки ЭЗПВ по сокращению речного стока [2-4]. Поскольку метод основан на количественной оценке разгрузки подземных вод в реки, он может быть отнесен к группе балансовых методов.

Отправной точкой для исследований послужили результаты многолетней эксплуатации Шиловского водозабора, расположенного в бассейне р. Шиловки, правобережного притока р. Пышмы. Площадь питания р. Шиловки составляет около 43,6 км<sup>2</sup>. Коренные породы в этих бассейнах выветрены и перекрыты песчано-глинистыми отложениями мощностью 6-15 м, а их высокие фильтрационные свойства обеспечивают в условиях отбора подземных вод и снижения уровня интенсивное поглощение выпадающих атмосферных осадков и воды из русла рек.

Подземные воды отбираются из одной 40-метровой шахты и трех водозаборных скважин глубиной 60—70 м. С 1971 по 1997 гг. здесь велись регулярные замеры изменений уровней подземных вод на сети наблюдательных скважин, дебита водозабора и колебания стока р. Шиловки.

В маловодные годы под влиянием интенсивного и относительно устойчивого отбора подземных вод наблюдаем почти полное прекращение стока р. Шиловки, причем наземная составляющая перехватывается полностью, остаточный поверхностный сток отмечается лишь в течение нескольких весенних дней. Русло реки на замыкающем посту остается сухим почти весь год. В маловодный год отбор подземных вод существенно превышает сокращение стока (питание водоносного горизонта), уровни подземных вод резко снижаются, и площадь их воронки депрессии резко возрастает, не выходя за пределы границ поверхностного водосбора. В такие годы недостаток питания компенсируется за счет сработки ёмкостных регулировочных запасов подземных вод.

С наступлением многоводных сезонов и лет по всей обширной площади воронки депрессии наблюдается интенсивное поглощение речных вод, уровни подземных вод быстро восстанавливаются и объём регулировочных запасов восполняется. Сокращение речного стока в этот период значительно превышает текущий водоотбор, особенно в весеннее половодье и летне-осенних дождей.

Таким образом, регулировочные запасы за счет поглощения речного способны осуществлять не только внутригодовое, но и межгодовое регулирование неравномерного питания.

Для удобства оценок стока реки и водоотбор выражаются в относительных единицах - модулях  $M$  и  $M_0$ , соответственно, представляющих собой величину общего речного стока и дебита водозабора,

отнесенных к единице площади (кв. км). Сокращения стока р. Шиловки ( $\Delta M$ ) под влиянием отбора подземных вод оцениваются по разности естественного стока ( $M$ ) и нарушенного отбором подземных вод стока ( $M^h$ ), то есть  $\Delta M = M - M^h$ . При этом величина естественного расхода восстанавливается по данным наблюдений на ближайшем бассейне, принятым в качестве полного аналога (для р. Шиловки природным аналогом принимается р. Крутиха).

В среднем за период 1971—1982 гг. близкий по водности к норме модуль отбора подземных вод на Шиловском водозаборе  $M_3 = 1,9$  л/с км<sup>2</sup> и был достаточно близок к величине сокращения речного стока ( $\Delta M = 1,7$  л/с км<sup>2</sup>). В исключительно маловодный 1976 г. при  $M = 0,9$  л/с км<sup>2</sup> водоотбор ( $M_3 = 2,0$  л/с км<sup>2</sup>) был существенно выше сокращения стока ( $\Delta M = 0,7$  л/с км<sup>2</sup>). Последующая эксплуатация Шиловского водозабора позволила отбирать в маловодные 1989 и 1996 гг., соответственно, 2,3 и 2,7 л/с км<sup>2</sup> при среднем многолетнем модуле общего естественного стока  $M = 2,9$  л/с км<sup>2</sup>.

Таким образом, средний многолетний отбор подземных вод ( $M_3^o$ ) в пределах малого водосбора равен или больше величины сокращения стока ( $\Delta M^o$ ) за этот период ( $M_3^o \geq \Delta M^o$ ), а в маловодный год, за счет регулировочных ёмкостных запасов подземной гидросферы, в два и более раз выше происходящего сокращения стока (питания).

Значит, по величине сокращения речного стока, зная закономерности его формирования, можно прогнозировать значение возможного отбора подземных вод, то есть эксплуатационные ресурсы и запасы подземных вод водозаборных участков и месторождений. В течение нескольких десятилетий специалисты Уральской гидрогеологической экспедиции занимались изучением режима подземных и поверхностных вод в естественных и нарушенных водоотбором условиях. Кроме того, для установления закономерностей сокращения речного стока были использованы материалы многолетних наблюдений Челябинской, Пермской и Североуральской гидрогеологических экспедиций, Ленгидропроекта и Ленгипроникиеля. В совокупности были проанализированы наблюдения на 38 стационарных гидрологических постах, расположенных на 30 малых речных бассейнах преимущественно восточного склона Северного, Среднего и Южного Урала за период с 1945 по 1986 гг. Суммарный цикл наблюдений составил 350 годо-постов.

Исследования показали, что основными факторами, определяющими сокращение речного стока ( $\Delta M$ ), являются естественная водность года ( $M$ ) и площадь развития воронки депрессии ( $f_n$ ), выраженная в процентах от общей площади водосбора.

Формула для расчета имеет вид

$$\Delta M = \alpha \times M, \quad (1)$$

где  $\alpha$  - параметр, численно равный тангенсу угла наклона линии связи на графике  $\Delta M = f | M, f_n$  (рис. 1).

Сокращение речного стока возрастает с увеличением естественной водности года ( $M$ ) и значения относительной площади воронки депрессии - параметра  $f_n$  (рис. 2).

В условиях тесной взаимосвязи поверхностных и подземных вод на горном Урале тип коренных пород не имеет определяющего значения. Различия в параметре " $\alpha$ " проявляется лишь для закарстованных пород (см. рис. 2). Различия сокращения среднегодового стока закарстованных и незакарстованных водосборов, при прочих близких условиях, составляют 10-30 %.

Роль гидрографических факторов в сокращении речного стока имеет подчиненное значение после геолого-гидрогеологических особенностей водосбора.

В свете изложенного, минимальная, наиболее жесткая величина эксплуатационных ресурсов, обеспеченная восполнением в маловодный период 95 % обеспеченности ( $M_{95}^h$ ) с учетом только межсезонного регулирования составит:

$$M_3^h = \Delta M_{95} = \alpha \times M_{95}. \quad (2)$$

Для маловодных лет 95 % обеспеченности ( $M_{95}$ ), когда воронка депрессии имеет наибольшее значение (параметр  $f_n$  приближается к 100 %), параметр " $\alpha$ " составляет для некарстовующихся пород порядка 0,8; для закарстованных - 0,9.

При наличии подземных ёмкостей (двухслойное строение разреза) необходимо учитывать межгодовое регулирование эксплуатационных ресурсов подземных вод. В этом случае для года 95 % обеспеченности величина эксплуатационных запасов ( $M_3^r$ ) выше. Как показывает практика,  $M_3^r$  следует оценивать по уравнению

$$M_3^r = K_1 \times \Delta M_{95}, \quad (3)$$

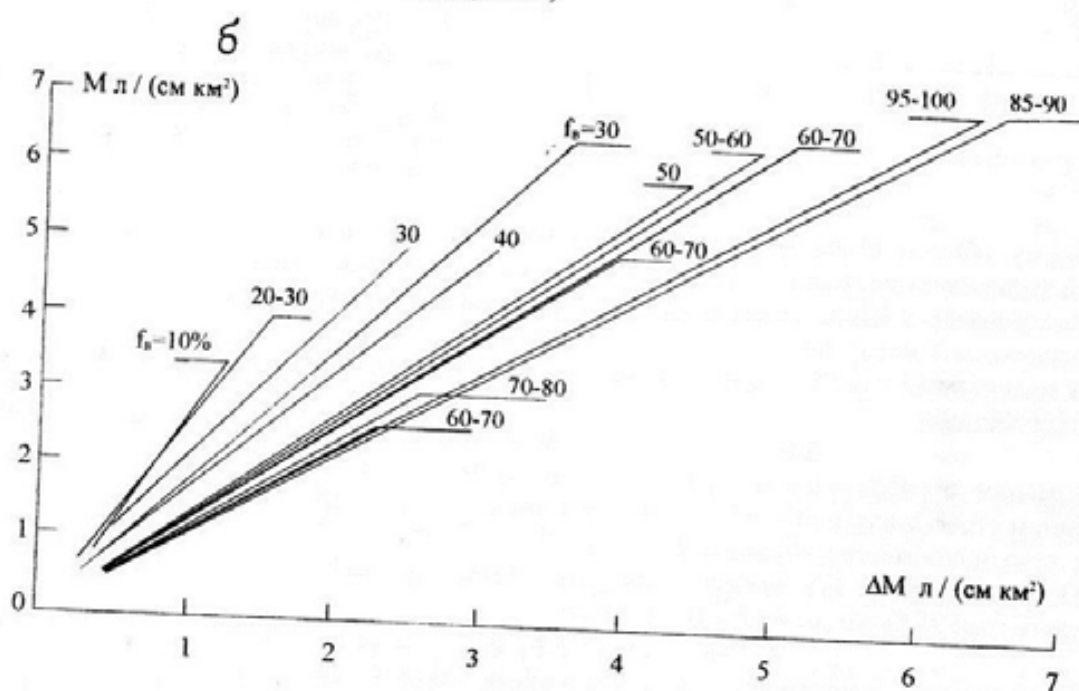
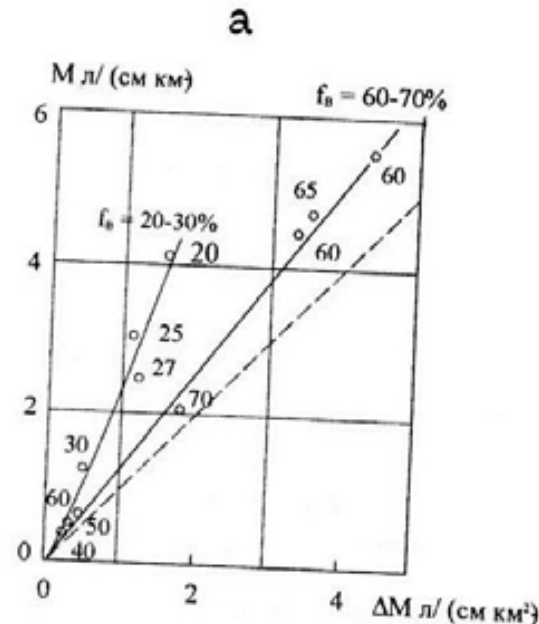


Рис. 1. Связь сокращения среднегодового стока ( $\Delta M$ ) с восстановленным естественным ( $M$ ) и площадью развития воронки депрессии ( $f_b$ ) для водосборов, сложенных некарстующимися породами: а - р. Березовка - пост 2 за 1971-1977 и 1982-1985 гг.; б - совмещенный график ряда водосборов

где значение коэффициента  $K_1$  находится в пределах 1,8-2,2 и зависит от регулирующих возможностей водовмещающих пород.

При наличии данных о сокращении речного стока в год среднемноголетней водности ( $\Delta M_0$ ) коэффициент  $K_1$ , учитывающий межгодное регулирование, равен 1, формула (3) приобретает вид:

$$M_3^0 = \Delta M_0, \quad (4)$$

где  $M_3^0$  - норма (среднемноголетнее значение) эксплуатационных ресурсов подземных вод водозабора.

Приблизительно прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод месторождения ( $M_3^n$ ) можно оценивать и непосредственно по средней многолетней величине (норме) общего среднегодового стока ( $M_0$ ), для которой составлены карты:

$$M_3^n = K_2 \times M_0, \quad (5)$$

где  $K_2$  - обобщенный коэффициент, равный в среднем для некарстующихся пород 0,7, а для закарстованных 0,8.

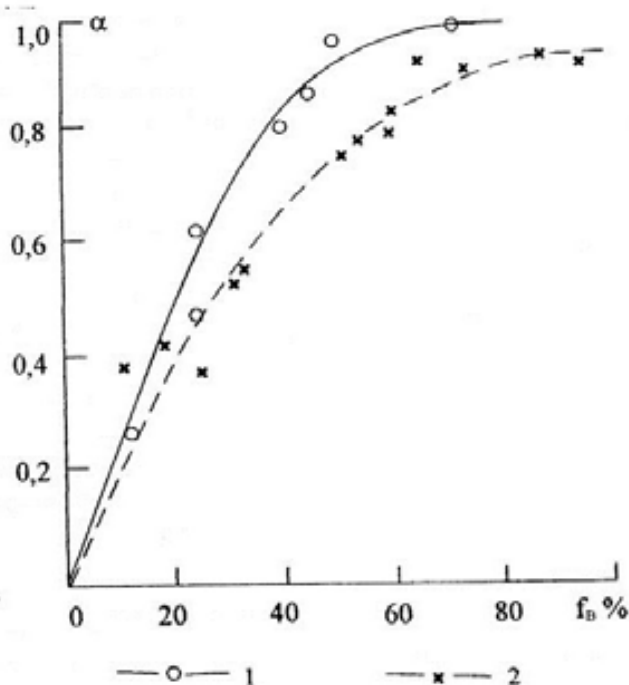


Рис. 2. Связь параметра  $\alpha$  в уравнении  $\Delta M = \alpha M$  с площадью развития воронки депрессии ( $f_b$ ) и площадью закарстованных пород ( $f_k$ ), где  $f_k$  - отношение площади карстующихся пород к общей площади водоотбора:  
 1 - для водосборов, сложенных закарстованными породами, при  $f_k > 40\%$ ; 2 - для водосборов, сложенных некарстующимися породами

Норму общего стока ( $M_0$ ) лучше принимать по ближайшему бассейну-аналогу или по районным эмпирическим графикам со средней высотой водосборной площади:  $M_0 = f(H_{cp})$  (рис. 3).

Возвращаясь к Шиловскому водозабору, выполним оценку его эксплуатационных ресурсов по вышеизложенной методике.

В маловодный год 95 % обеспеченности ( $M_{95} = 0,90 \text{ л/с км}^2$ ) сокращение речного стока по формуле (2) составит:

$$\Delta M_{95} = \alpha M_{95} = 0,8 \times 0,9 \text{ л/с км}^2 = 0,72 \text{ л/с км}^2.$$

Сравним с наблюдаемыми данными в бассейне р. Шиловки: в маловодный 1976 г. при естественном стоке аналога  $M = 0,9 \text{ л/с км}^2$  и остаточном стоке р. Шиловки  $0,12 \text{ л/с км}^2$  сокращение речного стока оценивается в объеме  $0,78 \text{ л/с км}^2$ .

По зависимости (3) модуль эксплуатационных ресурсов Шиловского водозабора для маловодного года 95 % обеспеченности составит:

$$M_3^r = K_1 \times \Delta M_{95} = 2,2 \times 0,72 = 1,6 \text{ л/с км}^2.$$

Приблизительно прогнозные эксплуатационные ресурсы рассчитываем по норме общего годового естественного стока ( $M_0 = 2,9 \text{ л/с км}^2$ ) - формула (5):

$$M_3^n = K_2 \times M_0 = 0,7 \times 2,9 \text{ л/с км}^2 = 2,03 \text{ л/с км}^2.$$

Сравним полученные расчетные значения эксплуатационного модуля с эксплуатационными запасами Шиловского водозабора, утвержденными для маловодных лет по результатам многолетних натуральных наблюдений. Они составляют  $2,2 \text{ л/с км}^2$ , а фактический водоотбор в исключительно маловодный 1976 год составил  $2,0 \text{ л/с км}^2$ .

Фактические данные несколько превышают расчетные значения, что связано с исключительно благоприятными условиями межгодового регулирования на площади питания Шиловского водозабора.

Сопоставление прогнозных и утвержденных величин показывает высокую надежность метода при всей его простоте и низких затратах. Оценка эксплуатационных запасов на уровне нормы сокращения речного стока обеспечивает сбалансированный многолетний водоотбор.

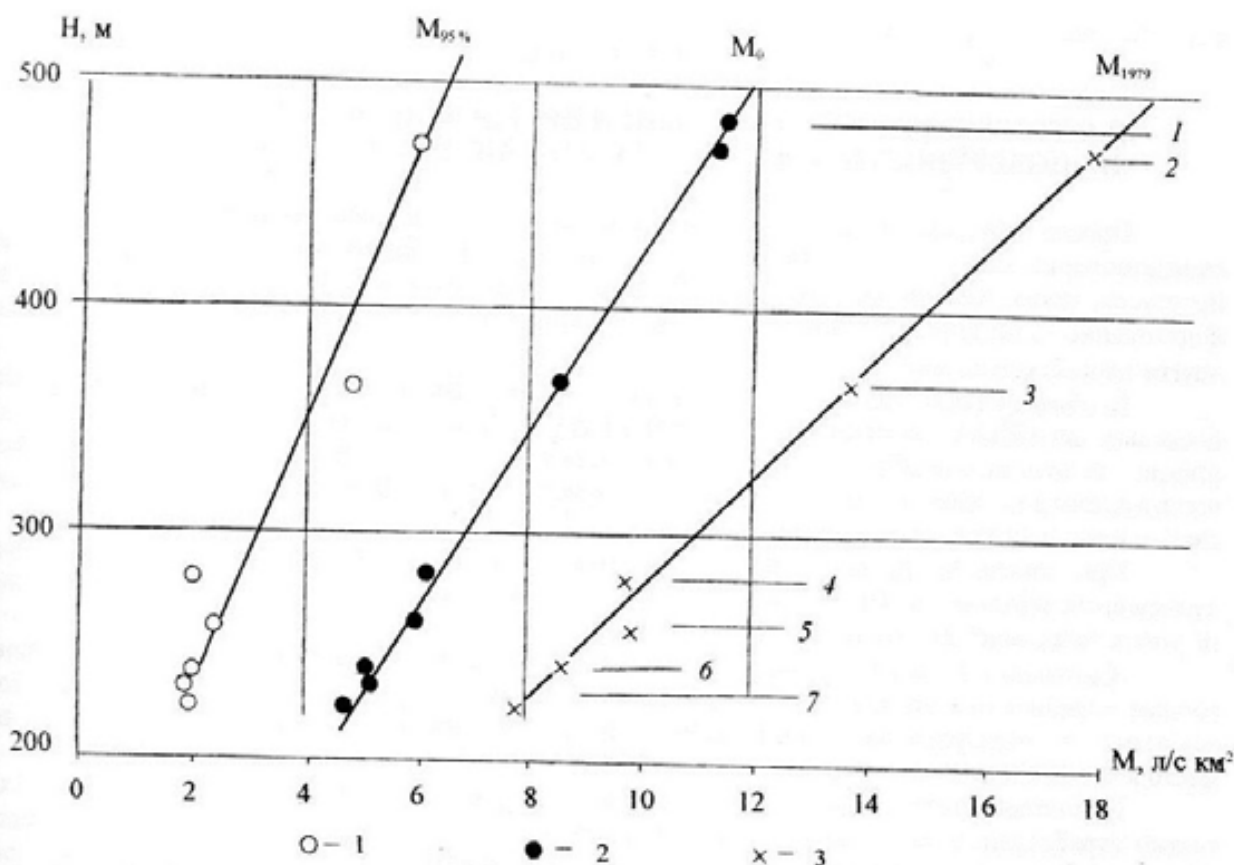


Рис. 3. Связи среднегодовых модулей стока и средней высоты водосбора в верховьях р. Сосьва:

1 - 95 % обеспеченности; 2 - норма; 3 - многоводный 1979 год.

Водосборы: 1 - р. Сосьва - д. Тренькино; 2 - р. Вагран - пос. Березовский; 3 - р. Сосьва - д. Денежкино; 4 - р. Турья - г. Карпинск; 5 - р. Калья - пост 8; 6 - р. Калья - пост 9; 7 - р. Антипинский Исток - пост 1

С использованием вышеизложенной методики оценены эксплуатационные запасы на следующих месторождениях пресных подземных вод: Шиловском, Березовском (южный участок), Гагарском (Грязнушинский, Каменский и Гагарский участки), Верхне-Пышминском (Среднеуральский участок), а также водопритоки к Булашскому шахтному полю, Березовскому рудному полю, Серовскому никелевому карьеру и на других объектах. Общая величина утвержденных эксплуатационных запасов подземных вод, оцененных вышеописанным методом, превышает 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Апробированность метода на уровне ГКЗ и ТКЗ, его простота и учет региональных особенностей Урала позволяют рекомендовать дополнить традиционные методы оценки ЭЗПВ методом оценки по сокращению речного стока и включить его в программу обучения студентов Уральской гос. горно-геологической академии по специальности "Поиски и разведка подземных вод".

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боровский Б.В., Дробноход, Язвин Л.С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. Киев: Высшая школа, 1983. 407 с.
2. Владимирюв Ю.И. Прогнозная оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод по графикам сокращения речного стока // Разведка и охрана недр. 1985. № 8. С. 47-51.
3. Владимирюв Ю.И. Изменение стока малых рек при отборе подземных вод пороскладчатой части Урала // Сборник работ по гидрологии, № 18. Л.: Гидрометеоздат, 1987. С. 17-44.
4. Владимирюв Ю.И. Оценка и прогноз изменения речного стока под влиянием эксплуатации подземных вод в малых бассейнах горноскладчатой части Среднего Урала // Доклады секции условий процессов Научного совета ГКН, 1991. Вып. 2. С. 53-60.